



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**PERENCANAAN MODIFIKASI GEDUNG APARTEMEN  
GRAND KAMALA LAGOON BEKASI DENGAN  
MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK**

AJI DICKY PERMANA  
NRP. 3113 100 002

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**PERENCANAAN        MODIFIKASI        GEDUNG  
APARTEMEN GRAND KAMALA LAGOON BEKASI  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON  
PRACETAK**

AJI DICKY PERMANA  
NRP. 3113 100 002

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan...”



FINAL PROJECT (RC14-1501)

**DESIGN MODIFICATION OF PRECAST CONCRETE  
METHOD AT GRAND KAMALA LAGOON BEKASI  
APARTEMENT BUILDING PROJECT**

AJI DICKY PERMANA  
NRP. 3113 100 002

Academic Supervisor  
Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

**PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND  
KAMALA LAGOON BEKASI DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Bidang Studi Struktur**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

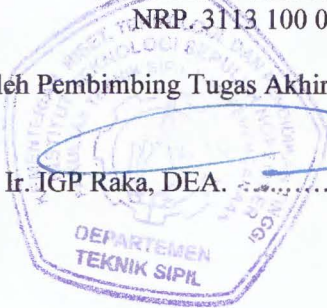
**Oleh:**

**AJI DICKY PERMANA**

**NRP. 3113 100 002**

**Ditujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:**

**I. Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA. .... (Pembimbing)**



**SURABAYA  
JUNI, 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

# **PERENCANAAN GEDUNG APARTEMEN GRAND KAMALA LAGOON BEKASI DENGAN MENGUNAKAN METODE BETON PRACETAK**

**Nama Mahasiswa : Aji Dicky Permana**  
**NRP : 3113100002**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP ITS**  
**Dosen Konsultasi : Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.**

## **Abstrak**

Metode beton pracetak merupakan metode yang digunakan dalam perancangan bangunan disamping metode konvensional dengan cara cor ditempat. Seiring dengan perkembangannya, metode beton pracetak kini semakin banyak diaplikasikan dalam pembangunan bangunan seperti pada gedung, jembatan, maupun konstruksi lainnya. Penggunaan metode beton pracetak didasari pada beberapa keunggulan yang dimilikinya dibandingkan metode konvensional (cor ditempat). Dalam pelaksanaannya metode beton pracetak memiliki keunggulan dalam kecepatan pengerjaan dan kontrol kualitas beton itu sendiri.

Perencanaan Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi pada kondisi sebenarnya dirancang menggunakan metode konvensional (cor ditempat) dengan ketinggian empat puluh dua lantai. Dalam tugas akhir ini, gedung tersebut akan dilakukan perancangan menggunakan metode beton pracetak dan memiliki system gedung yaitu sistem ganda (*dual system*). Pemilihan metode pracetak didasari oleh kecepatan pelaksanaan, kontrol kualitas mutu yang tinggi, ramah lingkungan, serta pengurangan jumlah tenaga kerja. Perencanaan dengan komponen pracetak diaplikasikan pada seluruh komponen struktur primer dan sekunder kecuali struktur dinding geser. Metode konvensional juga diterapkan pada sambungan, yaitu sambungan antara pelat dengan balok, balok dengan kolom, kolom dengan kolom dan sambungan

lainya direncanakan menggunakan sambungan basah dengan cor di tempat dan coupler sleeve dengan injeksi grouting.

Dalam perencanaan elemen – elemen beton pracetak penulis menggunakan ketentuan seperti perencanaan beton konvensional menurut SNI 2847:2013, PCI Handbook dan beberapa referensi lainnya. Selain itu bagian terpenting dalam perencanaan menggunakan metode beton pracetak adalah bagian sambungan. Metode penyambungan yang digunakan oleh penulis adalah produk dari *NMB Spilce Sleeve* menggunakan beberapa sambungan basah dengan menggunakan pipa penyambung (*coupler sleeve-connection*). Analisis perhitungan sambungan berdasarkan kekuatan gaya aksial sambungan yang dibandingkan dengan kekuatan tulangan setelah leleh (1,25fy) dan panjang penyaluran yang sesuai dengan peraturan SNI 2847:2013. Selanjutnya perencanaan tersebut dituangkan dalam bentuk gambar perencanaan.

**Kata Kunci : metode beton pracetak, metode beton konvensional, sistem ganda (*dual system*), Grand Kamala Lagoon Bekasi, *NMB Spilce Sleeve, coupler*.**

# **DESIGN MODIFICATION OF PRECAST CONCRETE METHOD AT GRAND KAMALA LAGOON BEKASI APARTMENT PROJECT**

**Student Name : Aji Dicky Permana**  
**NRP : 3113100002**  
**Department : Teknik Sipil FTSP ITS**  
**Academic Supervisor : Prof. Dr. Ir. IGP Raka, DEA.**

## ***Abstract***

*Precast concrete method is a method that used in building design besides conventional method with cast in place. Along with the development, precast concrete method recently more applied in building construction such as building, bridge, and also the other construction. The use of precast concrete method based on some its superiority compared with conventional method (with cast in place). In its implementation, precast concrete method has advantage in processing speed and its concrete quality control.*

*The building design of Grand Kamala Lagoon Apartment Bekasi in fact condition is design using conventional method (with cast in place) with a height of 42 floors. In this final project, the design of that building using precast concrete method and dual system structure. The selection of precast concrete method is based on speed of execution, high quality control, eco friendly, and also work force reduction. Design with precast component applied in all primary and secondary structure component except shift wall's structure. Conventional method is also implemented in connection, specifically the connection between plate and beam, beam and column, column and column, and another connection planned using wet connection with cast in place, coupler sleeve with injection grouting.*

*In the plan of precast concrete elements, writer using some provision such as planning of concrete conventional method accordance with SNI 2847:2013, PCI's Handbook and some another reference. Besides that, the most part in planning using precast concrete method is connection part. The connection method that used by writer is product from NMB Splice Sleeve using some wet connection with sleeve coupler with grouting. Connection counting's analysis based on strength of axial force connection which is compared with strength of reinforced after melting (1.25fy) and thread length which accordance with SNI 2847:2013. After that, the result of the design will be presented in engineering drawing.*

***Key Words : precast concrete method, conventional concrete method, Dual system, Bale Hinggil Apartment, NMB Spilce Sleeve, coupler.***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi Dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak**”. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesainya Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Semua anggota keluarga yang telah memberikan semangat selama menjalani perkuliahan di ITS.
2. Prof. Ir. IGP Raka, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan serta bimbingannya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya selama masa perkuliahan penulis.
4. Keluarga S56 dan Teman-teman Jurusan Teknik Sipil yang memberikan motivasi dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tugas akhir yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dengan rasa hormat penulis mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap tugas akhir ini. Sehingga kedepannya, diharapkan ada perbaikan terhadap proposal tugas akhir ini serta dapat menambah pengetahuan bagi penulis,

Surabaya, Juni 2017

Penulis



“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	2
1.3    Tujuan.....	2
1.4    Batasan Masalah.....	3
1.5    Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Umum.....	5
2.2    Sistem Struktur Gedung .....	6
2.3    Konstruksi Tahan Gempa.....	8
2.4    Sistem Pracetak untuk Gedung.....	9
2.4.1    Elemen Pracetak .....	9
2.4.1.1    Pelat .....	9
2.4.1.2    Balok .....	11
2.4.1.3    Kolom.....	12
2.4.1.4    Dinding Geser ( <i>Shear Wall</i> ) .....	13
2.5    Perencanaan Sambungan.....	14
2.5.1    Jenis Sambungan .....	15
2.5.2    Tipe Sambungan.....	19
2.5.2.1    Sambungan Base Plate – Kolom / Kolom – Kolom .....	19

2.5.2.2	Sambungan antar Balok Pracetak dan Pelat Pracetak .....	20
2.5.2.3	Sambungan antar Balok Pracetak dan Kolom . .....	20
2.6	Titik-Titik Angkat dan Sokongan.....	21
2.6.1	Pengangkatan Pelat Pracetak.....	21
2.6.2	Pengangkatan Balok Pracetak .....	22
2.7	Fase Penanganan Beton Pracetak .....	24
2.8	Struktur <i>Basement</i> .....	25
2.9	Metode Konstruksi Sistem Pracetak.....	26
BAB III METODOLOGI .....		29
3.1	Pengumpulan Data .....	30
3.2	Studi Literatur dan Peraturan .....	32
3.2.1	Penentuan Kriteria Desain.....	32
3.2.2	Peraturan Terkait Perencanaan Gedung .....	33
3.3	<i>Preliminary Design</i> .....	33
3.3.1	Perencanaan Dimensi Pelat .....	33
3.3.2	Perencanaan Dimensi Balok Induk .....	35
3.3.3	Perencanaan Dimensi Kolom .....	35
3.4	Perencanaan Struktur Sekunder.....	35
3.4.1	Perhitungan Balok Anak.....	35
3.4.2	Perencanaan Tangga.....	36
3.4.3	Perencanaan Struktur Atap.....	36
3.4.4	Perencanaan Lift.....	36
3.5	Pembebanan.....	37
3.6	Permodelan dan Analisa Struktur.....	41
3.6.1	Perhitungan Gaya Dalam.....	41
3.6.2	Kontrol persyaratan .....	41
3.7	Perencanaan Penulangan Struktur .....	42
3.7.1	Perencanaan Tulangan Balok .....	42
3.7.1.1	Perhitungan Tulangan Lentur Balok.....	42

3.7.1.2	Perhitungan Tulangan Geser Balok.....	43
3.7.1.3	Kontrol Torsi .....	44
3.7.2	Perencanaan Tulangan Kolom.....	45
3.7.2.1	Persyaratan “ <i>Strong Coloumn Weak Beams</i> ” . .....	45
3.7.3	Perencanaan Tulangan Pelat.....	46
3.7.3.1	Perhitungan Tulangan Lentur .....	46
3.7.3.2	Perhitungan Tulangan Susut.....	46
3.7.3.3	Kontrol Retak Tulangan .....	47
3.8	Perencanaan Sambungan.....	47
3.8.1	Sambungan <i>Base Plate</i> – Kolom / Kolom – Kolom .....	47
3.8.2	Sambungan Balok Pracetak dengan Kolom .....	48
3.8.3	Sambungan Balok Pracetak dengan Pelat Pracetak. .....	49
3.8.4	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak.....	50
3.8.5	Detail Penulangan Sambungan.....	50
3.8.5.1	Geser Horizontal.....	50
3.8.5.2	Penyaluran Tulangan Dalam Tarik.....	51
3.8.5.3	Penyaluran Tulangan Berkaitan Dalam Tarik . .....	52
3.9	Perencanaan <i>Basement</i> .....	53
3.10	Perencanaan Pondasi .....	53
3.10.1	Daya Dukung Tiang Vertikal .....	54
3.10.2	Daya Dukung Tiang Horizontal .....	54
3.10.3	Kebutuhan Tiang Pancang.....	55
3.10.4	Perencanaan Terhadap Geser .....	56
3.11	Metode Pelaksanaan .....	57
3.12	Gambar Teknis Hasil Perhitungan .....	57
BAB IV PEMBAHASAN .....		59
4.1	<i>Preliminary Design</i> .....	59
4.1.1	Umum.....	59

4.1.2	Data Perencanaan .....	59
4.1.3	Pembebanan.....	60
4.1.4	Perencanaan Dimensi Balok.....	60
4.1.4.1	Dimensi Balok Induk.....	61
4.1.4.2	Dimensi Balok Anak .....	62
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat.....	63
4.1.5.1	Peraturan Perencanaan Pelat.....	63
4.1.5.2	Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap .....	63
4.1.5.3	Kontrol Tebal Pelat.....	64
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom .....	64
4.1.6.1	Beban yang diterima basement dan lantai tipikal .....	65
4.1.6.2	Beban yang diterima lantai atap .....	65
4.1.7	Perencanaan Tebal Dinding Geser ( <i>Shear Wall</i> ).....	67
4.2	Perencanaan Struktur Sekunder.....	67
4.2.1	Perencanaan Pelat.....	67
4.2.1.1	Data Perencanaan Pelat .....	68
4.2.1.2	Pembebanan Pelat Lantai .....	68
4.2.1.3	Pembebanan Pelat Atap.....	69
4.2.1.4	Kombinasi Pembebanan Pelat .....	70
4.2.1.5	Perhitungan Tulangan Pelat.....	70
4.2.1.6	Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit .....	72
4.2.1.7	Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan.....	74
4.2.1.8	Penulangan Pelat Sesudah Komposit .....	77
4.2.1.9	Penulangan Overtopping .....	79
4.2.1.10	Penulangan Stud Pelat Lantai.....	79
4.2.1.11	Kontrol Retak .....	82
4.2.1.12	Perhitungan Tulangan Angkat.....	82
4.2.2	Perencanaan Balok Anak Pracetak.....	87
4.2.2.1	Dimensi Awal.....	87

4.2.2.2	Pembebanan Balok Anak Pracetak.....	88
4.2.2.3	Perhitungan Momen dan Gaya Geser .....	91
4.2.2.4	Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak ..	91
4.2.2.5	Perhitungan Tulangan Geser .....	95
4.2.2.6	Pengangkatan Balok Anak .....	97
4.2.2.7	Kontrol Lendutan.....	101
4.2.3	Perencanaan Tangga Pracetak .....	102
4.2.3.1	Dimensi Awal.....	102
4.2.3.2	Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur .....	103
4.2.3.3	Analisa Gaya-Gaya Dalam .....	104
4.2.3.4	Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes .....	107
4.2.3.5	Pengangkatan Tangga.....	114
4.2.4	Perencanaan Balok Lift .....	118
4.2.4.1	Data Perencanaan .....	118
4.2.4.2	Perencanaan Dimensi Balok Lift.....	119
4.2.4.3	Pembebanan Lift.....	120
4.2.4.4	Balok Penggantung Lift 30/40.....	121
4.2.4.5	Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 40/60 .....	124
4.3	Permodelan Struktur.....	128
4.3.1	Umum.....	128
4.3.1.1	Data-Data Perencanaan .....	128
4.3.2	Pembebanan Gravitasi .....	129
4.3.3	Kombinasi Pembebanan .....	129
4.3.4	Analisa Beban Gempa .....	130
4.3.4.1	Percepatan Respon Spektrum (MCE) .....	130
4.3.4.2	Parameter Percepatan Respon Spektral .....	132
4.3.5	Pembebanan Gempa Dinamis.....	134
4.3.5.1	Arah Pembebanan.....	134
4.3.5.2	Faktor Reduksi Gempa (R).....	134
4.3.5.3	Faktor Keutamaan .....	135

4.3.5.4	Beban Gravitasi .....	135
4.3.5.5	Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T) .....	137
4.3.5.6	Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear) ...	138
4.3.5.7	Kontrol Partisipasi Massa.....	140
4.3.5.8	Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (Drift) .....	141
4.3.5.9	Kontrol Sistem Ganda .....	144
4.4	Struktur Utama .....	145
4.4.1	Umum.....	145
4.4.2	Perencanaan Balok Induk Pracetak .....	146
4.4.2.1	Penulangan Lentur.....	146
4.4.2.2	Penulangan Geser dan Torsi .....	157
4.4.2.3	Pengangkatan Balok Induk BI 1 .....	162
4.4.2.4	Rekap Penulangan Balok Induk Pracetak..	165
4.4.3	Perencanaan Kolom Pracetak.....	166
4.4.3.1	Data Umum Perencanaan Kolom .....	166
4.4.3.2	Perencanaan Kolom Lantai 1 – 4.....	167
4.4.3.3	Perencanaan Kolom Lantai 5 – 8.....	172
4.4.3.4	Pengangkatan Kolom Pracetak.....	177
4.4.4	Perencanaan Dinding Geser ( <i>Shear Wall</i> ) .....	178
4.4.4.1	Dinding Geser Arah X.....	179
4.4.4.2	Dinding Geser Arah Y .....	183
4.4.4.3	Rekapitulasi Penulangan Kolom dan Shear Wall .....	188
4.4.5	Perencanaan Sambungan .....	188
4.4.5.1	Umum.....	188
4.4.5.2	Konsep Desain Sambungan .....	190
4.4.5.3	Penggunaan Topping Beton .....	193
4.4.5.4	Perencanaan Sambungan Balok Induk – Kolom .....	194
4.4.5.5	Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak .....	201

4.4.5.6	Perencanaan Sambungan Pelat Pracetak dan Balok Pracetak.....	203
4.4.5.7	Perencanaan Sambungan antar Kolom Pracetak .....	205
4.5	Perencanaan <i>Basement</i> .....	207
4.5.1	Umum.....	207
4.6	Perencanaan Pondasi .....	212
4.6.1	Umum.....	212
4.6.2	Beban Struktur.....	212
4.6.3	Kriteria <i>Design</i> .....	213
4.6.3.1	Spesifikasi Tiang Pancang.....	213
4.7	Metode Pelaksanaan .....	230
4.7.1	Umum.....	230
4.7.2	Fabrikasi Beton Pracetak.....	231
4.7.3	Pengangkatan dan Penempatan Crane.....	231
4.7.4	Transportasi Elemen Beton Pracetak.....	232
4.7.5	Metode Pekerjaan Elemen Beton Pracetak.....	232
BAB V PENUTUP .....		241
5.1	Kesimpulan.....	241
5.2	Saran.....	243



“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan Utilitas Metode Pracetak dengan Konvensional.....	6
Gambar 2.2	Pelat Pracetak Berlubang ( <i>Hollow Core Slab</i> ) .....	10
Gambar 2.3	Pelat Pracetak Tanpa Lubang ( <i>Solid Slab</i> ).....	10
Gambar 2.4	Pelat Pracetak Tanpa Lubang( <i>Solid Slab</i> ).....	11
Gambar 2.5	Balok Berpenampang Persegi ( <i>Rectangular Beam</i> ) .....	11
Gambar 2.6	Balok Berpenampang L ( <i>L-Shaped Beam</i> ).....	12
Gambar 2.7	Balok T Terbalik ( <i>Inverted Tee Beam</i> ) .....	12
Gambar 2.8	Kolom Pracetak dengan Metode Coupler Sleeve NMB).....	13
Gambar 2.9	Gaya Dalam Hubungan Balok dan Kolom.....	15
Gambar 2.10	Sambungan Basah Struktur Pracetak .....	16
Gambar 2.11	Sambungan dengan Las pada Struktur Pracetak .....	17
Gambar 2.12	Sambungan dengan Baut pada Struktur Pracetak .....	18
Gambar 2.13	Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak dan Shearwall Pracetak Menggunakan <i>Coupler</i> dari Produk NMB Splice Sleeve .....	19
Gambar 2.14	Sambungan Balok Pracetak dan Pelat Pracetak .....	20
Gambar 2.15	Sambungan antar Balok .....	21
Gambar 2.16	Posisi Titik Angkat Pelat (4 Buah Titik Angkat).....	22
Gambar 2.17	Posisi Titik Angkat Pelat (8 Buah Titik Angkat).....	22
Gambar 2.18	Pengangkatan Balok Pracetak.....	23
Gambar 2.19	Model Pembebanan Balok Pracetak saat Pengangkatan .....	23

Gambar 2.20	Titik Angkat dan Sokongan Sementara untuk Produk Pracetak Balok .....	23
Gambar 2.21	Tekanan Tanah yang Terjadi pada Area <i>Basement</i> .....	25
Gambar 2.22	Metode Bottom Up .....	26
Gambar 3.1	Diagram Alur Penyelesaian Tugas Akhir.....	29
Gambar 3.2	Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di Hubungan Balok Kolom.....	45
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan Penulangan Komponen Lentur .....	46
Gambar 3.4	Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak dan Shearwall Pracetak Menggunakan <i>Coupler</i> dari Produk NMB Splice Sleeve .....	48
Gambar 3.5	Sambungan Balok dan Kolom.....	48
Gambar 3.6	Hubungan Balok dan Kolom.....	49
Gambar 3.7	Sambungan Antara Balok dengan Pelat .....	49
Gambar 3.8	Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak .....	50
Gambar 3.9	Detail Kaitan untuk Penyaluran Kait Standar .....	52
Gambar 3.10	Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang .....	56
Gambar 4.1	Denah Pelat Tipe A .....	71
Gambar 4.2	Potongan Pelat Tipe A .....	71
Gambar 4.3	Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	74
Gambar 4.4	Diagram gaya geser horizontal penampang komposit .....	80
Gambar 4.5	Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	83
Gambar 4.6	Momen pengangkatan pelat arah i .....	83
Gambar 4.7	Momen pengangkatan pelat arah j .....	84

Gambar 4.8	(1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL.....	86
Gambar 4.9	<i>JENKA Lifter</i> .....	86
Gambar 4.10	(a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit.....	88
Gambar 4.11	Distribusi Beban pada Balok Anak 35/50 Sebelum Komposit.....	88
Gambar 4.12	Momen Saat Pengangkatan Balok Anak.....	97
Gambar 4.13	Letak Titik Pengangkatan Balok.....	98
Gambar 4.14	(1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL.....	99
Gambar 4.15	<i>JENKA Lifter</i> .....	99
Gambar 4.16	Desain Tanga.....	102
Gambar 4.17	Ketebalan Tangga.....	103
Gambar 4.18	Sketsa beban pada tangga.....	104
Gambar 4.19	<i>Free body</i> diagram gaya-gaya pada tangga.....	106
Gambar 4.20	Bidang lintang (D) pada tang (dalam kg) .....	106
Gambar 4.21	Bidang normal (N) pada tangga (dalam kg) .....	107
Gambar 4.22	Bidang momen (M) pada tangga (dalam kg) .....	107
Gambar 4.23	Jarak Tulangan Angkat.....	114
Gambar 4.24	((1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL.....	117
Gambar 4.25	<i>JENKA Lifter</i> .....	117
Gambar 4.26	Titik Angkat Tangga Pracetak.....	118
Gambar 4.27	Denah Ruang Lift.....	119
Gambar 4.28	Permodelan 3D Struktur Utama (properties view) .....	128

Gambar 4.29	Peta untuk penentuan harga $S_s$ .....	130
Gambar 4.30	Peta untuk penentuan harga $S_1$ .....	131
Gambar 4.31	Grafik Respon Spektrum Daerah Tinjauan Bekasi.....	133
Gambar 4.32	Simpangan Gedung (a) Arah X (b) Arah Y .....	142
Gambar 4.33	Denah Pembalokan.....	144
Gambar 4.34	Pembebanan BI 50/75 Sebelum Komposit .....	149
Gambar 4.35	Potongan Balok T BI 50/75.....	154
Gambar 4.36	Penentuan Jarak $x$ di Luar Sendi Plastis .....	160
Gambar 4.37	Momen saat pengangkatan BI 50/75 .....	162
Gambar 4.38	Letak Titik Pengangkatan BI 50/75 .....	163
Gambar 4.39	(1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL.....	165
Gambar 4.40	<i>JENKA Lifter</i> .....	165
Gambar 4.41	Denah Kolom .....	167
Gambar 4.42	Output spColumn Kolom 80x80 cm Arah X.....	168
Gambar 4.43	Output spColumn Kolom 80x80 cm Arah Y .....	168
Gambar 4.44	Output spColumn (setelah Mpr) Kolom 80x80 cm Arah X .....	170
Gambar 4.45	Output spColumn (setelah Mpr) Kolom \ 80x80 cm Arah Y .....	170
Gambar 4.46	Output spColumn Kolom 70x70 cm Arah X.....	173
Gambar 4.47	Output spColumn Kolom 70x70 cm Arah Y .....	173
Gambar 4.48	Output spColumn (setelah Mpr) Kolom 70x70 cm Arah X .....	175
Gambar 4.49	Output spColumn (setelah Mpr) Kolom	

	70x70 cm Arah Y .....	175
Gambar 4.50	(1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL.....	177
Gambar 4.51	<i>JENKA Lifter</i> .....	178
Gambar 4.52	Detail Kolom Pracetak K1 dan K2.....	178
Gambar 4.53	Detail Kolom Pracetak K3 dan K4.....	178
Gambar 4.54	Penulangan Shearwall .....	188
Gambar 4.55	Panjang Penyaluran pada Tumpuan .....	190
Gambar 4.56	Mekanisme Pemindahan Beban .....	191
Gambar 4.57	Model keruntuhan .....	192
Gambar 4.58	Model sambungan balok pada konsol kolom.....	193
Gambar 4.59	Geometrik konsol pendek.....	195
Gambar 4.60	Detail batang tulangan dengan kait standar.....	200
Gambar 4.61	Detail batang tulangan dengan kait standar.....	202
Gambar 4.62	Panjang Penyaluran Pelat .....	203
Gambar 4.63	Ilustrasi Pertemuan antar Tulangan Kolom Pracetak pada Pambungan Coupler Sleeve NMB.....	206
Gambar 4.64	Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak Menggunakan <i>Coupler</i> dari Produk NMB Splice Sleeve .....	207
Gambar 4.65	Diagram tegangan yang terjadi pada dinding basement.....	206
Gambar 4.66	Konfigurasi Tiang Pancang pada <i>Pilecap</i> Tipe 1 .....	216
Gambar 4.67	Area Kritis Geser pons dua arah .....	219
Gambar 4.68	Area Kritis Geser pons satu arah.....	220
Gambar 4.69	Area Geser Akibat tiang pancang Individu .....	221
Gambar 4.70	Daerah Tulangan Lentur Lentur Sisi Panjang.....	222
Gambar 4.71	Daerah Tulangan Lentur Lentur Sisi	

	Pendek .....	223
Gambar 4.72	Perencanaan Poer 1 (P1) .....	225
Gambar 4.73	Perencanaan Poer 2 (P2) .....	226
Gambar 4.74	Sloof yang ditinjau .....	227
Gambar 4.75	Diagram Interaksi Balok Sloof 50/75.....	229
Gambar 4.76	Pekerjaan Pelat .....	233
Gambar 4.77	Pengecoran Topping dengan Penyangga <i>Scaffolding</i> .....	234
Gambar 4.78	Pemasangan Balok Induk Pracetak dan Kolom dengan Cor Setempat .....	235
Gambar 4.79	Pemasangan Balok Anak Pracetak dengan Bantuan Perancah.....	236
Gambar 4.80	Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak dan Shearwall Pracetak Menggunakan <i>Coupler</i> dari Produk NMB Splice Sleeve .....	237
Gambar 4.81	Pemilihan Tipe <i>Coupler Sleeve</i> <i>NMB Splice Sleeve</i> .....	338
Gambar 4.82	Lama Pengeringan Proses inject grouting dengan SS Mortar.....	239
Gambar 4.83	Proses Injeksi Grouting Menggunakan <i>NMB Coupler Sleeves</i> dan <i>SS Mortar</i> <i>Grout</i> .....	240
Gambar 4.84	Mekanisme Tulangan dalam Coupler NMB Splice Sleeve .....	240

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Material Struktur .....	5
Tabel 2.2	Perbandingan Sambungan pada Elemen Pracetak.....	18
Tabel 2.3	Angka Pengali Beban Statis Ekvivalen untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan Gaya Dinamis.....	24
Tabel 3.1	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek.....	32
Tabel 3.2	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik .....	32
Tabel 3.3	Beban Mati pada Struktur .....	37
Tabel 3.4	Beban Hidup pada Struktur.....	38
Tabel 3.5	Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik .....	51
Tabel 3.6	Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Tarik .....	52
Tabel 4.1	Rekapotulasi Hasil Perhitungan Dimensi Balok Induk .....	62
Tabel 4.2	Rekapotulasi Hasil Perhitungan Dimensi Balok Anak.....	63
Tabel 4.3	Penulangan terpasang pada pelat .....	87
Tabel 4.4	Penulangan terpasang pada balok anak.....	101
Tabel 4.5	Spesifikasi C300 Passenger Elevator.....	119
Tabel 4.6	Koefisien Situs $F_a$ .....	132
Tabel 4.7	Koefisien Situs $F_v$ .....	132
Tabel 4.8	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek .....	133
Tabel 4.9	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik .....	133
Tabel 4.10	Faktor Keutamaan Gempa .....	135



Tabel 4.11	Rekap Pembebanan Gravitasi .....	136
Tabel 4.12	Pembebanan Gravitasi pada ETABS .....	136
Tabel 4.13	Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ ...	137
Tabel 4.14	Koefisien untuk Batas Atas.....	137
Tabel 4.15	Modal Periode dan Frekuensi Struktur .....	138
Tabel 4.16	Berat Efektif Struktur.....	139
Tabel 4.17	Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y .....	140
Tabel 4.18	Rasio Partisipasi Massa .....	141
Tabel 4.19	Batas Simpangan Gedung.....	142
Tabel 4.20	Rekapitulasi Simpangan yang terjadi arah X.....	143
Tabel 4.21	Rekapitulasi Simpangan yang terjadi arah Y .....	144
Tabel 4.22	Reaksi Perletakan dan Persentase Gaya Geser yang Dipikul akibat Gempa Arah X dan Arah Y .....	145
Tabel 4.23	Perhitungan Mpr BI.1 .....	159
Tabel 4.24	Rekapitulasi Penulangan Balok Induk Pracetak	166
Tabel 4.25	Rekap Penulangan Kolom .....	188
Tabel 4.26	Rekapitulasi Perhitungan Konsol Pendek pada Kolom .....	199
Tabel 4.27	Beban Pada Satu Kolom Saat Service .....	213
Tabel 4.28	Data Tanah SPT dan Nilai $N$ Koreksi ( $N'$ ).....	214
Tabel 4.29	Penentuan Kedalaman Tiang Pancang .....	215
Tabel 4.30	Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom untuk Pondasi.....	217
Tabel 5.1	Dimensi Struktur Sekunder.....	241
Tabel 5.2	Dimensi Struktur Primer.....	242

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan penduduk di Indonesia dinilai sangat pesat. Laju pertumbuhan di Indonesia cukup signifikan menurut Kepala Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional (2015) yakni 1,49 persen. Sebagai contohnya adalah Kota Bekasi. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kota Bekasi, proyeksi pertambahan penduduk kota tersebut sebesar 2,71% per tahun. Artinya, kebutuhan akan tempat tinggal bagi pertambahan penduduk tersebut turut meningkat.

Disamping kebutuhan akan hal tersebut meningkat, di sisi lain ketersediaan lahan tempat tinggal atau hunian sangatlah terbatas. Kebutuhan penduduk inilah yang akan menuntut pembangunan di kota-kota besar seperti Kota Bekasi untuk memenuhi kebutuhan akan tempat tinggal masyarakatnya. Pertumbuhan penduduk yang terus-menerus ditambah lagi dengan pendatang yang ingin merubah nasibnya di kota besar mengakibatkan lahan di Kota Bekasi semakin terbatas untuk dijadikan sebuah tempat tinggal.

Apartemen dinilai hunian yang praktis untuk hidup di zaman modern seperti sekarang, lokasinya yang berada di pusat kota memudahkan untuk melakukan aktifitas. Selain itu apartemen menghemat lahan untuk pembuatan hunian. Tetapi dengan catatan, sebaiknya apartemen yang dibangun adalah apartemen yang bersifat ramah lingkungan.

Pembangunan gedung apartemen diharapkan dapat diselesaikan dengan cepat sehubungan dengan kebutuhan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, perlu adanya metode yang memungkinkan pembangunan dapat diselesaikan dengan cepat dan efisien. Metode beton pracetak adalah salah satu metode yang sangat menunjang dalam proses pembangunan dengan kebutuhan kecepatan pengerjaan yang tinggi. Beton Pracetak dapat diartikan sebagai suatu proses produksi elemen struktur/arsitekural

bangunan pada suatu tempat/lokasi dimana elemen struktur/arsitektural tersebut akan digunakan (Ervianto, 2006). Selain unggul dalam kecepatan pengerjaan, metode beton pracetak juga memiliki keunggulan dalam beberapa hal, diantaranya memudahkan pengontrolan kualitas, mengurangi tenaga kerja dan begisting, serta berwawasan lingkungan. Metode beton pracetak saat ini sangat diminati oleh seluruh perencana bangunan di dunia. Perkembangannya pun harus terus diteliti oleh banyak ilmuwan, yang membuat pracetak bisa menjadi lebih murah. Hal ini karena elemen pracetak akan sangat ekonomis bila digunakan pada bangunan yang memiliki tipe tipikal.

Gedung Apartemen Grand kamala Lagoon Bekasi ini akan dimodifikasi dengan metode beton pracetak pada semua komponen struktur gedung kecuali pada dinding geser (*shearwall*). Selain itu, pada proses penyambungannya menggunakan metode cor setempat berupa *overtopping* dan ada juga yang menggunakan produk dari *NMB Splice Sleeve* berupa *coupler* yang ditanam di elemen pracetak dan kemudian dilakukan *inject grouting* pada *coupler* tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan ditinjau pada perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana merencanakan tipe dan dimensi struktur dari elemen beton pracetak?
2. Bagaimana merencanakan gedung apartemen yang mampu menahan beban gravitasi dan beban lateral?
3. Bagaimana merencanakan desain dan detail sambungan komponen-komponen beton pracetak?
4. Bagaimana merencanakan struktur *basement* dan pondasi yang dapat menopang gedung?
5. Bagaimana membuat gambar teknik dari hasil perhitungan perencanaan struktur beton pracetak?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ulang gedung apartemen ini adalah:

1. Merencanakan tipe dan dimensi struktur dari elemen beton pracetak.
2. Merencanakan gedung apartemen yang mampu menahan beban gravitasi dan beban lateral.
3. Merencanakan desain dan detail sambungan komponen-komponen beton pracetak.
4. Merencanakan struktur *basement* dan pondasi yang dapat menopang gedung.
5. Membuat gambar teknik dari hasil perhitungan perencanaan struktur beton pracetak.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan Masalah dalam perencanaan gedung apartemen ini adalah:

1. Jenis beton pracetak yang digunakan pada perencanaan ini adalah tipe beton pracetak biasa.
2. Komponen yang menggunakan elemen beton pracetak pada gedung apartemen ini adalah pelat lantai, tangga, balok, dan kolom.
3. Tidak memperhitungkan unsur arsitektur dan utilitas.
4. Tidak menghitung anggaran biaya, hanya memperhitungkan kekuatan struktur.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan hasil perancangan dari Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi dengan menggunakan metode pracetak.
2. Agar dapat menjadi acuan studi bagi para pembaca tentang beton pracetak.
3. Menambah pengetahuan penulis tentang beton pracetak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

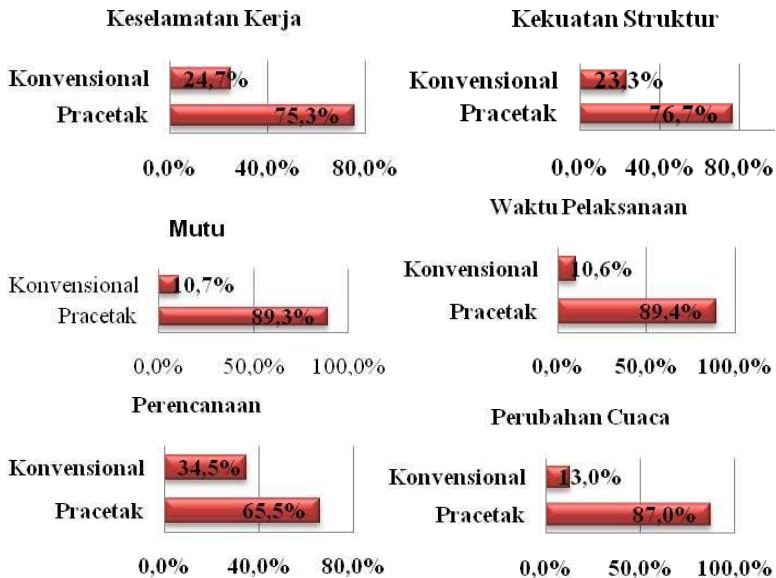
#### 2.1 Umum

Pracetak dapat diartikan sebagai suatu proses produksi elemen struktur/arsitektural bangunan pada suatu tempat/lokasi dimana elemen struktur/arsitektural tersebut akan digunakan (Ervianto, 2006). Sedangkan menurut SKSNI T-15-1991-03 beton pracetak adalah komponen beton yang dicor di tempat yang bukan merupakan posisi akhir dalam suatu struktur. Kekuatan beton yang dipakai sekitar 4000 sampai 6000 psi dan dengan kekuatan lebih tinggi. Sistem pracetak ini memiliki beberapa perbedaan dalam beberapa aspek dengan beton cor di tempat maupun spesifikasi material struktur lain, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

**Tabel 2.1** Perbedaan Material Struktur

Aspek	Kayu	Baja	Beton	
			Konvensional	Pracetak
Pengadaan	Semakin Terbatas	Utamanya Impor	Mudah	Mudah
Permintaan	Banyak	Banyak	Paling Banyak	Cukup
Pelaksanaan	Sukar, Kotor	Cepat, Bersih	Lama, Kotor	Cepat, Bersih
Pemeliharaan	Biaya Tinggi	Biaya Tinggi	Biaya Sedang	Biaya Sedang
Kualitas	Tergantung Spesies	Tinggi	Sedang-Tinggi	Tinggi
Harga	Semakin Mahal	Mahal	Lebih Murah	Lebih Murah
Tenaga Kerja	Banyak	Banyak	Banyak	Banyak
Lingkungan	Tidak Ramah	Ramah	Kurang Ramah	Ramah
Standar	Ada (Sedang Diperbaharui)	Ada (Sedang Diperbaharui)	Ada (Sedang Diperbaharui)	Belum Ada (Sedang Disusun)

Sedangkan jika ditinjau dari segi utilitas, perbedaan sistem beton pracetak jika dibanding dengan sistem konvensional yang didapat dari responden oleh berbagai pihak yang terlibat dalam proses pekerjaan pembangunan dan penelitian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



**Gambar 2.1** Perbandingan Utilitas Metode Pracetak dengan Konvensional

## 2.2 Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur yang digunakan sebagai penahan gaya gempa pada perencanaan gedung secara umum terdapat beberapa sistem struktur, diantaranya Sistem Dinding Struktural, Sistem Rangka Gedung, Sistem Rangka Pemikul Momen, dan Sistem Ganda. Pada Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Tower Emerald digunakan Sistem Ganda dengan Rangka Pemikul Momen Khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen

gaya gempa yang ditetapkan disertai dengan dinding geser beton bertulang biasa. Perencanaan struktur juga disesuaikan dengan zona gempa yang terdapat pada lokasi gedung tersebut.

Struktur sistem ganda adalah gabungan antara rangka pemikul momen dan dinding geser (*shear wall*) yang dapat bekerja bersamaan dalam menahan beban gempa. Pada struktur ini, beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh rangka pemikul momen, sedangkan beban lateralnya dipikul oleh rangka pemikul momen dan *shear wall*. Pada struktur sistem ganda diharapkan keduanya dapat mengalami defleksi lateral yang sama. Dengan sistem ini, perancangan struktur juga dinilai lebih efisien dan ekonomis dikarenakan dimensi rangka utama dapat diperkecil oleh penggunaan *shear wall*. Jika pada sistem rangka pemikul momen semakin tinggi struktur gedung, semakin besar dimensi yang digunakan yang dapat menyebabkan kemampuan struktur lebih banyak menahan berat sendiri. Sedangkan pada sistem struktur ganda, semakin tinggi gedung, maka semakin tebal *shear wall* yang dibutuhkan. Pemasangan *shear wall* dapat mengurangi simpangan antar tingkat gedung, hal ini terjadi karena besarnya kekakuan bangunan menjadi lebih besar dibandingkan bangunan gedung yang tidak menggunakan *shear wall*. Dengan adanya *shear wall*, dimensi rangka utama yaitu balok dan kolom dapat diperkecil.

Sebelum menghitung struktur bangunan, SNI 1726-2012 mensyaratkan untuk menentukan sistem bangunan terlebih dahulu yang nantinya akan dipakai dalam pembahasan sub bab perencanaan struktur selanjutnya dan berikut adalah langkah-langkah menentukan sistem struktur bangunan antara lain:

- a. Menentukan Nilai  $S_s$  dan  $S_t$ .
- b. Menentukan kelas situs berdasarkan data tanah yang ada.
- c. Menentukan koefisien lokasi  $F_a$  dan  $F_v$ .
- d. Menghitung nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ .
- e. Menghitung nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .
- f. Menentukan kategori resiko bangunan.
- g. Menentukan kategori desain gempa (KDG).



Dengan memakai data  $S_{DS}$  dan Kategori desain gempa didapat sistem bangunan yang dipakai.

- Rangka Momen Khusus yang Dibangun Dengan Menggunakan Sistem Pracetak ( SNI 2847:2013 pasal 21.5 - 21.8 )
- Dinding Geser Beton Bertulang Khusus (SNI 2847:2013 pasal 21.9)

### 2.3 Konstruksi Tahan Gempa

Sesuai Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa (2006), taraf keamanan minimum untuk bangunan gedung dan rumah tinggal yang masuk dalam kategori bangunan tahan gempa, yaitu memenuhi berikut ini:

- a. Bila terkena gempa bumi yang lemah, bangunan tersebut tidak mengalami kerusakan sama sekali.
- b. Bila terkena gempa bumi sedang, bangunan tersebut boleh rusak pada elemen-elemen non-struktural, tetapi tidak boleh rusak pada elemen-elemen struktural.
- c. Bila terkena gempa bumi yang sangat kuat, bangunan tersebut tidak boleh runtuh baik sebagian maupun seluruhnya, tidak boleh mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki, serta bangunan tersebut boleh mengalami kerusakan, tetapi kerusakan yang terjadi harus dapat diperbaiki dengan cepat sehingga dapat berfungsi kembali.

*Federal Emergency Management Agency* (2010) memberikan beberapa karakteristik untuk memenuhi konstruksi bangunan yang memiliki performa yang cukup dan aman ketika gempa kuat terjadi. Dengan kriteria yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Pondasi stabil, yang mampu menahan beban guling primer gempa dan mentransfer beban lateral gempa yang besar antara struktur dan tanah.

2. Penyaluran beban yang menerus, dengan memastikan semua komponen bangunan saling terikat sehingga tidak ada komponen yang rusak atau lepas ketika terjadi gempa.
3. Kekuatan dan kekakuan, yang mampu menahan beban lateral gempa tanpa menimbulkan *displacement* horizontal yang besar pada struktur.
4. Keteraturan struktur, meliputi distribusi massa, kekuatan, dan kekakuan sehingga pergerakan lateral pada setiap lantai hampir sama ketika gempa terjadi untuk menghindari adanya pemusatan beban hanya pada titik-titik tertentu.
5. Pemborosan struktur, sehingga banyak elemen turut memberikan kekuatan residu pada struktur ketika sejumlah elemen rusak untuk mencegah keruntuhan total.
6. Daktilitas yang sesuai, yaitu kemampuan elemen struktur untuk tetap menahan beban tanpa runtuh ketika mengalami kerusakan akibat beban berlebihan.

## **2.4 Sistem Pracetak untuk Gedung**

### **2.4.1 Elemen Pracetak**

Pembuatan beton pracetak dilakukan di lokasi proyek ataupun di luar lokasi proyek seperti pabrik. Agar elemen beton pracetak yang dibuat sesuai dengan yang direncanakan dan tidak mengalami kesulitan dalam proses fabrikasi, hendaknya perencana mengetahui macam-macam elemen struktur pracetak pada umumnya.

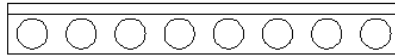
#### **2.4.1.1 Pelat**

Pelat merupakan struktur tipis yang dibuat dari beton dengan bidang yang arahnya horizontal dan beban yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Pada pelat beton pracetak, waktu pengangkutan atau sebelum komposit, beban yang bekerja adalah berat sendiri pelat, sedangkan beban total yang diterima oleh pelat terjadi pada saat pelat sudah komposit.

Dalam *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada beberapa macam pelat pracetak (*precast slab*) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak, antara lain:

1) Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

Pelat ini merupakan pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 2 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 15 inchi. Ilustrasi pelat jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)  
(Sumber: *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition*)

2) Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

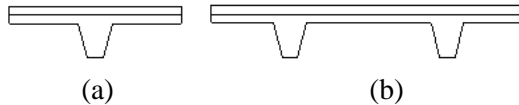
Adalah pelat pracetak dengan tebal pelat lebih tipis dibandingkan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan ketebalan dan lebar yang bervariasi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 5 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang. Ilustrasi pelat jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slab*)  
(Sumber: *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition*)

3) Pelat Pracetak *Double Tess* dan *Single Tees*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa satu atau dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung. Ilustrasi pelat jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Pelat Pracetak (a) *Single Tee* dan (b) *Double Tees*  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

#### 2.4.1.2 Balok

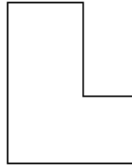
Pada balok pracetak (*Precast Beam*) ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan, sebagai contoh:

1. Balok dengan Penampang Persegi (*Rectangular Beam*) :  
Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah balok tipe persegi ini. Ilustrasi balok jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



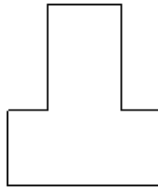
**Gambar 2.5** Balok Berpenampang Persegi (*Rectangular Beam*)  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

2. Balok Berpenampang L (*L-Shaped Beam*).  
Ilustrasi balok jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Balok Berpenampang L (*L-Shaped Beam*)  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

3. Balok Berpenampang T terbalik (*Inverted Tee Beam*).  
Ilustrasi balok jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.7.



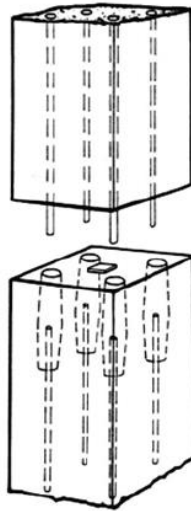
**Gambar 2.7** Balok T Terbalik (*Inverted Tee Beam*)  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

### 2.4.1.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan (*collapse*) pada lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Kolom dalam perencanaan tugas akhir ini juga mengaplikasikan kolom pracetak. Berdasarkan SNI 2847:13, pasal 16.5.3 (a), kolom pracetak harus mempunyai kekuatan nominal dalam kondisi tarik tidak kurang dari  $1,4A_g$  dalam N. Untuk kolom dengan penampang yang lebih besar dari yang diperlukan dengan tinjauan pembebanan, luas efektif tereduksi  $A_g$ , yang didasarkan

pada penampang yang diperlukan tetapi tidak kurang dari setengah luas total, hal ini diizinkan.



**Gambar 2.8** Kolom Pracetak dengan Metode Coupler Sleeve  
NMB

(Sumber : *NMB Coupler Sleeve Column Catalogue*)

#### 2.4.1.4 Dinding Geser (*Shear Wall*)

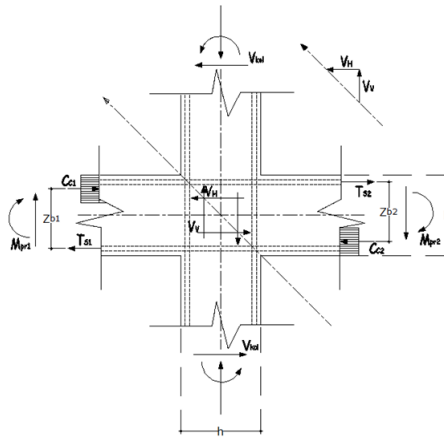
Dinding geser merupakan suatu elemen dinding beton bertulang yang dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dinding yang berfungsi sebagai pengaku yang menerus sampai ke pondasi ini juga merupakan dinding inti untuk menambah kekakuan pada seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser, dan gaya lateral akibat gempa bumi. Dinding geser pada umumnya bersifat kaku, sehingga *deformasi* (lendutan) horizontal menjadi kecil. Kategori dinding geser berdasarkan geometrinya, yaitu:

1. *Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $h_w/l_w \geq 2$ , di mana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
2. *Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $h_w/l_w \leq 2$ , di mana desain dikontrol oleh perilaku geser.
3. *Coupled shear wall* (dinding berangkai), di mana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding, yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut. (Imran, 2008)

Dinding Geser memiliki macam, sebagai dinding geser tunggal serta dinding geser disusun membentuk core. Konsep perencanaan dinding geser mengacu kepada Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013) dan pada elemen dinding geser ini menggunakan beton bertulang biasa dengan metode pracetak.

## 2.5 Perencanaan Sambungan

Hal terpenting dalam merencanakan struktur seperti balok, kolom, pelat lantai menggunakan sistem pracetak adalah pada bagian sambungan. Seperti halnya pada pertemuan balok dan kolom merupakan daerah terjadinya interaksi tegangan yang sangat tinggi. Karena adanya beban gempa daerah pertemuan ini merupakan daerah potensial untuk terjadinya keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya geser diagonal yang terjadi akibat gempa. Sehingga pertemuan balok kolom harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan SNI 2847:2013. Selain berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja, sambungan juga harus berfungsi menyatukan masing-masing komponen beton pracetak tersebut menjadi satu-kesatuan yang monolit sehingga dapat mengupayakan stabilitas struktur bangunannya (Muh. Syarif BP, 2011). Untuk detail penjabaran mengenai gaya dalam yang bekerja pada struktur balok dan kolom dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut:



**Gambar 2.9** Gaya Dalam Hubungan Balok dan Kolom

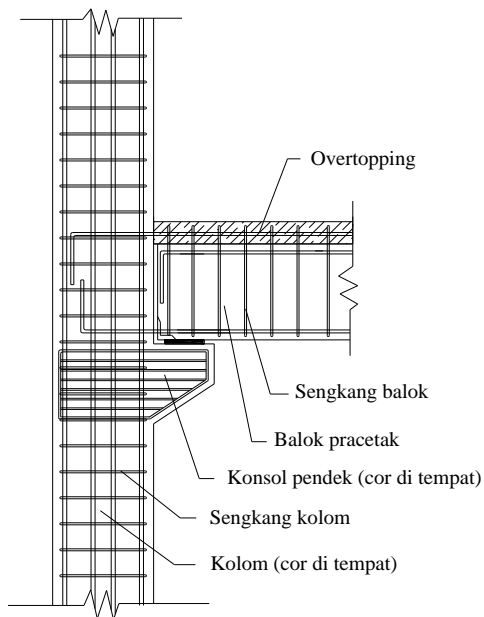
### 2.5.1 Jenis Sambungan

Sambungan komponen struktur beton pracetak dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu sambungan basah dan sambungan kering. Yang dimaksud dengan sambungan tipe basah merupakan sambungan dengan metode cor beton di tempat (*in situ concrete joint*). Sedangkan untuk sambungan tipe kering terdiri dari sambungan las atau sambungan baut. Untuk *wet-joint (in-situ concrete joint)*, struktur yang terbentuk lebih monolit, toleransi dimensi lebih tinggi bila dibandingkan dengan *dryjoint*, tetapi membutuhkan setting-time beton cukup lama yang berpengaruh pada waktu pelaksanaan konstruksi. Pada *dry-joint*, struktur yang terbentuk kurang monolit, setelah proses instalasi sambungan segera dapat berfungsi sehingga mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi, kelemahannya: toleransi dimensi rendah sehingga membutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan (Noorhidana, 2001). Dalam perencanaan ini penulis menggunakan jenis sambungan kering (*dry connection*) pada bagian kolom – kolom serta sambungan basah (*wet connection*) pada bagian balok dan pelat lantai.



- Sambungan Basah

Sambungan basah terdiri dari *overlap* tulangan dari bagian ujung komponen beton pracetak (pasca cor) dimana antar tulangan dihubungkan dengan bantuan *mechanical joint*, *mechanical coupled*, *splice sleeve*, atau panjang penyaluran. Kemudian pada bagian sambungan tersebut dilakukan pengecoran beton di tempat (*in situ*). Penyambungan jenis ini memiliki fungsi yang lebih efisien untuk mengurangi penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut dan perubahan temperatur. Sambungan jenis ini sangat dianjurkan untuk diaplikasikan pada bangunan di daerah rawan gempa karena menjadikan masing-masing komponen beton pracetak menjadi monolit. Untuk lebih jelasnya mengenai contoh sambungan basah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut:

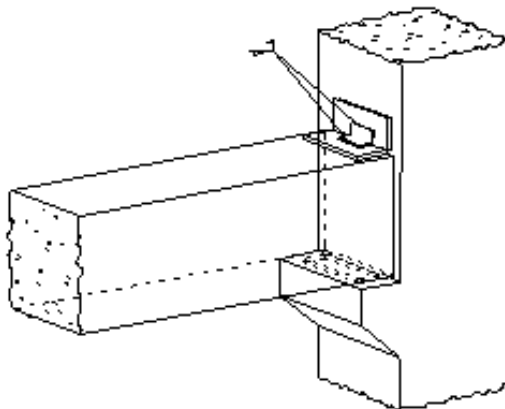


**Gambar 2.10** Sambungan Basah Struktur Precetak

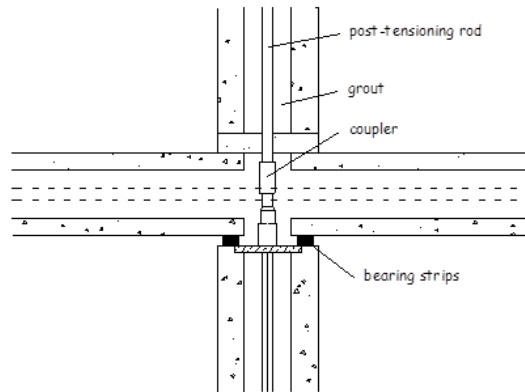
- Sambungan Kering

Sambungan kering (*dry connection*) ini menggunakan bantuan plat besi yang digunakan sebagai penghubung antar komponen beton pracetak. Plat besi sambungkan ke beton pracetak dengan cara dilas atau di baut. Penggunaan metode sambungan ini perlu diperhatikan dalam analisa dan permodelan komputer karena antar elemen struktur bangunan dapat berperilaku tidak monolit.

Umumnya, pada pertemuan balok dan kolom, ujung balok di dukung oleh *corbels* atau biasa disebut dengan konsol yang menjadi satu dengan kolom. Penyatuan antara dua komponen tersebut menggunakan las yang dilaksanakan pada pelat baja yang tertanam dengan balok dengan pelat baja yang telah disiapkan pada sisi kolom. Detail mengenai sambungan kering tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10 untuk sambungan menggunakan las dan Gambar 2.11 untuk sambungan menggunakan baut.



**Gambar 2.11** Sambungan dengan Las pada Struktur Pracetak



**Gambar 2.12** Sambungan dengan Baut pada Struktur Pracetak

Untuk mengetahui tentang perbandingan sambungan basah dan sambungan kering dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini:

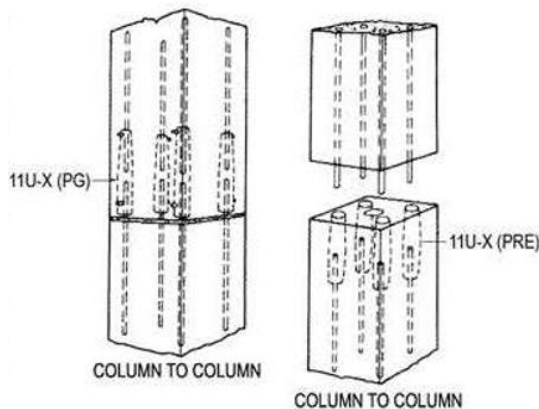
**Tabel 2.2** Perbandingan Sambungan pada Elemen Pracetak

Deskripsi	<i>In-Situ Concrete Joints</i>	<i>Bolted &amp; Welded Connection</i>	<i>Prestressed Connection</i>
Kebutuhan Struktur	Monolit	Kurang Monolit	Monolit
Waktu yang dibutuhkan agar sambungan dapat berfungsi secara efektif	Perlu <i>setting time</i>	Segera dapat berfungsi	Perlu <i>setting time</i>
Metode pemasangan yang sesuai	<i>Horizontal Method</i>	<i>Vertical Method</i>	<i>Horizontal Method</i>
jenis Sambungan	Basah	Kering	Basah
Ketinggian bangunan	-	Max. 25 meter	-
Waktu Pelaksanaan	Lebih lama karena membutuhkan waktu untuk <i>setting time</i>	Lebih cepat 25%-40% bila dibandingkan dengan <i>in-situ concrete joints</i>	Lebih lama karena membutuhkan waktu untuk <i>setting time</i>
Toleransi dimensi	Lebih tinggi bila dibandingkan dengan sambungan baut dan las	rendah, sehingga dibutuhkan akurasi yang tinggi selama proses produksi dan pemasangan	Lebih tinggi bila dibandingkan dengan sambungan baut dan las
Bentang dari struktur yang mampu didukung	Terbatas	Terbatas	Bentang Lebar

## 2.5.2 Tipe Sambungan

### 2.5.2.1 Sambungan Base Plate – Kolom / Kolom – Kolom

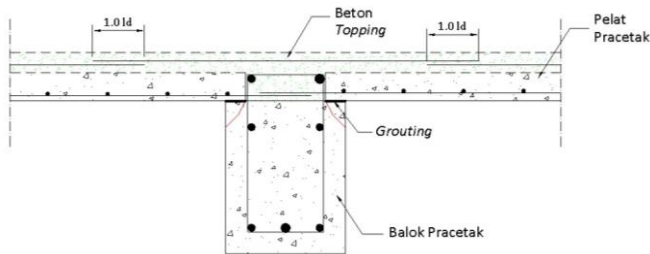
Setelah dilakukan pemancangan dan pembuatan pile cap maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pengecoran pile cap. Pada penyambungan antar kolom dengan dimensi berbeda pada dasarnya sama seperti pada proses penyambungan antar kolom dengan dimensi sama, hanya saja pada tulangan panjang penyaluran pada kondisi ini lebih dilakukan penyesuaian terhadap lubang kolom yg berada di atasnya. Untuk metode penyambungannya di sini penulis menggunakan referensi dari produk *couple for splicing reinforcing bar* dari **NMB Splice Sleeve**. Maka dari itu, sambungan pada kolom-kolom dan antar shearwall ini tetap dinamakan sambungan basah (*wet connection*).



**Gambar** Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak dan Shearwall Pracetak Menggunakan *Coupler* dari Produk **NMB Splice Sleeve**

### 2.5.2.2 Sambungan antar Balok Pracetak dan Pelat Pracetak

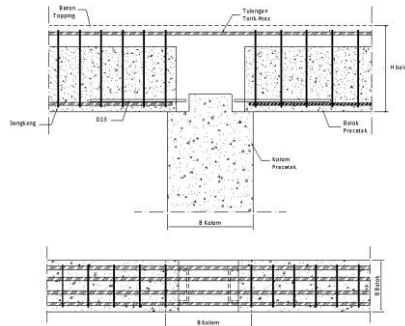
Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus mengetahui pasti mengenai gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak yang tersalurkan pada komponen balok. Sambungan antara balok pracetak dan pelat pracetak dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut:



**Gambar 2.14** Sambungan Balok Pracetak dan Pelat Pracetak  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

### 2.5.2.3 Sambungan antar Balok Pracetak dan Kolom

Pertemuan balok dan kolom merupakan daerah terjadinya interaksi tegangan yang sangat tinggi. Karena adanya beban gempa daerah pertemuan ini merupakan daerah potensial untuk terjadinya keruntuhan yang diakibatkan oleh gaya geser diagonal yang terjadi akibat gempa. Untuk itu, sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau *monolit*. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Pada proses penyambungan antara balok anak dan balok induk digunakan coupler untuk keperluan *inject grouting* yang didapat dari produk **NMB Splice Sleeve**. Sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat dapat dilihat seperti pada Gambar 2.13 berikut:



**Gambar 2.15** Sambungan antar Balok  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

## 2.6 Titik-Titik Angkat dan Sokongan

### 2.6.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pada perencanaan pelat perlu diperhatikan bahwa pelat nantinya akan mengalami pengangkatan menuju area pemasangan pelat atau area lantai tower yang direncanakan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

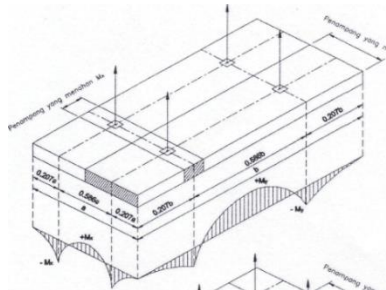
#### a. Dua Titik Angkat

Seperti terlihat pada Gambar 2.14, maksimum momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_x = 0,0107 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0107 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

- $M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan  $15t$  atau  $b/2$
- $M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$



**Gambar 2.16** Posisi Titik Angkat Pelat (4 Buah Titik Angkat)  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

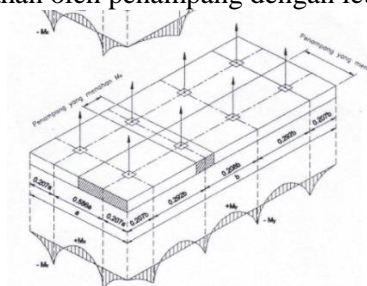
b. Empat Titik Angkat

Seperti terlihat pada Gambar 2.15, maksimum Momen (pendekatan) :

$$+M_x = -M_x = 0,0054 \cdot w \cdot a^2 \cdot b$$

$$+M_y = -M_y = 0,0027 \cdot w \cdot a \cdot b^2$$

- $M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dan  $15t$  atau  $b/4$
- $M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$

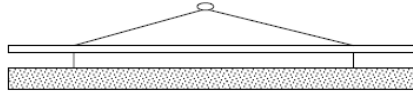


**Gambar 2.17** Posisi Titik Angkat Pelat (8 Buah Titik Angkat)  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)

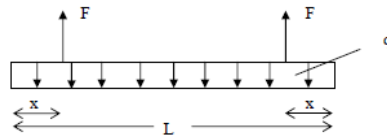
### 2.6.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya (Gambar 2.16). Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri dari balok pracetak yang ditumpu oleh anker pengangkatan sehingga menyebabkan

terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan seperti pada Gambar 2.17. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angker pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak pada balok.

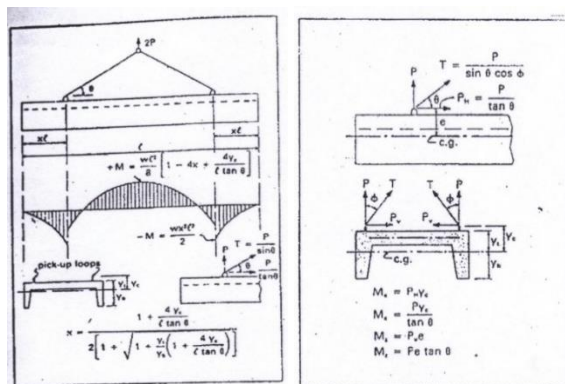


**Gambar 2.18** Pengangkatan Balok Pracetak



**Gambar 2.19** Model Pembebanan Balok Pracetak saat Pengangkatan.

Balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada Gambar 2.18 serta angka pengali pada Tabel 2.3.



**Gambar 2.20** Titik Angkat dan Sokongan Sementara untuk Produk Pracetak Balok  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition)



**Tabel 2.3** Angka Pengali Beban Statis Ekuivalen untuk Menghitung Gaya Pengangkatan dan Gaya Dinamis

Pengangkatan dari bekisting	1,7
Pengangkatan ke tempat penyimpanan	1,2
Transportasi	1,5
Pemasangan	1,2

## 2.7 Fase Penanganan Beton Pracetak

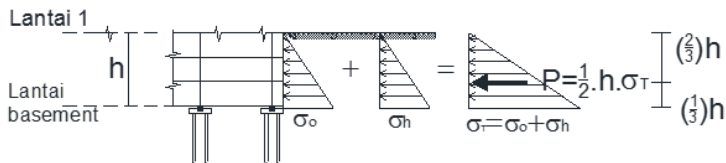
Sebelum digunakan beton pracetak mengalami fase-fase perlakuan yang meliputi:

1. Pengangkatan dari bekisting modul (*stripping*)
  - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
  - b. Lekatan permukaan beton dengan bekisting
  - c. Jumlah dan lokasi peralatan angkat
  - d. Berat produk pracetak dan beban-beban tambahan, seperti bekisting yang terbawa saat produk diangkat
2. Penempatan ke lokasi penyimpanan (*yard handling and storage*)
  - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
  - b. Lokasi titik-titik angkat sementara
  - c. Lokasi sokongan sehubungan dengan produk-produk lain yang juga disimpan
  - d. Perlindungan dari sinar matahari langsung
3. Transportasi ke lokasi (*transportation to the job site*)
  - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
  - b. Lokasi sokongan vertikal maupun horizontal
  - c. Kondisi kendaraan pengangkut, jalan, dan batas-batas berat muatan dari jalan yang akan dilalui
  - d. Pertimbangan dinamis saat transportasi

4. Pemasangan (*erection*)
  - a. Orientasi produk dengan macam horizontal, vertikal, atau membentuk sudut
  - b. Lokasi dan jumlah titik-titik angkat
  - c. Lokasi dan jumlah titik-titik sokongan
  - d. Beban sementara, seperti pekerja, peralatan selama pekerjaan, dan berat beton *overlapping*.

## 2.8 Struktur Basement

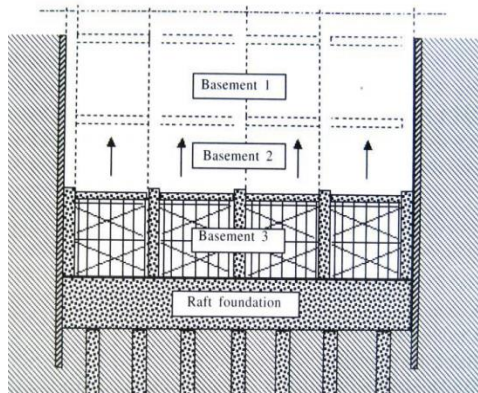
*Basement* adalah sebuah tingkat atau beberapa tingkat dari bangunan yang keseluruhan atau sebagian terletak di bawah tanah. *Basement* adalah ruang bawah tanah yang merupakan bagian dari bangunan gedung. Dalam pelaksanaan konstruksi *basement*, ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan, yakni metode konstruksi, *retaining wall* dan *dewatering*. Karena lantai *basement* berada di dalam tanah, maka seluruh dinding luar digunakan pelat beton sebagai penahan tanah. Dinding basement mengalami tekanan horizontal yang diakibatkan oleh tanah dan tekanan akibat air di belakang dinding *basement*. Ilustrasi mengenai tekanan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.19



**Gambar 2.21** Tekanan Tanah yang Terjadi pada Area *Basement*

Metode konstruksi galian yang dilaksanakan pada proyek pembangunan basement One East Residence di Balikpapan menggunakan sistem Bottom Up (Gambar 2.19). Pada sistem ini struktur basement dilaksanakan setelah seluruh pekerjaan galian selesai mencapai elevasi rencana. Pelat basement paling bawah dicor terlebih dahulu, kemudian basement diselesaikan dari bawah ke atas, dengan menggunakan scaffolding. Kolom, balok, dan pelat di cor setempat (*cast in situ*). Pada sistem ini, galian

tanah dapat berupa open cut atau dengan sistem dinding penahan tanah yang bisa sementara dan permanen.



**Gambar 2.22** Metode Bottom Up

(Sumber: <http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/>)

## 2.9 Metode Konstruksi Sistem Pracetak

Dalam pelaksanaan suatu konstruksi yang menggunakan beton pracetak, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

### a. Serangkaian kegiatan yang dilakukan pada proses produksi adalah :

1. Pembuatan rangka tulangan
2. pembuatan cetakan
3. Pembuatan campuran beton
4. Pengecoran beton
5. Perawatan (*curing*)
6. Penyempurnaan akhir dan penyimpanan

### b. Transportasi dan Alat Angkut

Transportasi adalah pengangkutan elemen pracetak dari pabrik ke lokasi pemasangan. Sistem transportasi berpengaruh terhadap waktu, efisiensi konstruksi dan biaya transport. Yang perlu diperhatikan dalam sistem transportasi adalah:

1. Spesifikasi alat transportasi
2. Rute transportasi
3. Perijinan transportasi

Alat angkat yaitu memindahkan elemen dari tempat penumpukan ke posisi penyambungan (perakitan). Peralatan angkat untuk memasang beton pracetak dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Keren mobile
2. Keren teleskopis
3. Keren menara
4. Keren portal

**c. Pelaksanaan Konstruksi (Ereksi)**

Metode dan jenis pelaksanaan konstruksi precast diantaranya adalah :

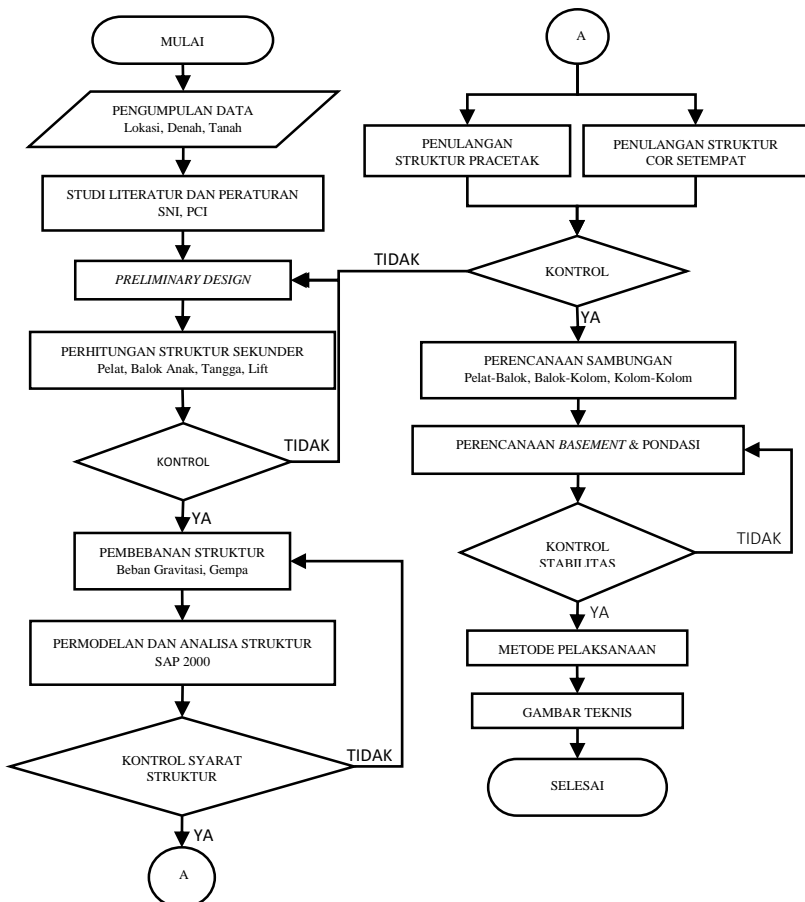
1. Dirakit per elemen
2. *Lift - Slab System*  
*Lift - Slab System* adalah pengikatan elemen lantai ke kolom dengan menggunakan dongkrak hidrolis.  
 Prinsip konstruksinya sebagai berikut :
  - Lantai menggunakan plat-plat beton bertulang yang dicor pada lantai bawah
  - Kolom merupakan penyalur beban vertical dapat sebagai elemen pracetak atau cor di tempat.
  - Setelah lantai cukup kuat dapat diangkat satu persatu dengan dongkrak hidrolis.
3. *Slip - Form System*  
 Pada system ini beton dituangkan diatas cetakan baja yang dapat bergerak memanjat ke atas mengikuti penambahan ketinggian dinding yang bersangkutan
4. *Push - Up / jack - Block System*  
 Pada system ini lantai teratas atap di cor terlebih dulu kemudian diangkat ke atas dengan hidranlic – jack yang dipasang di bawah elemen pendukung vertical.

5. *Box System*  
Konstruksi menggunakan dimensional berupa modul-modul kubus beton.

## BAB III

### METODOLOGI

Berikut adalah tahapan-tahapan yang akan dilakukan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini sesuai pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

### 3.1 Pengumpulan Data

Data yang didapat dari lapangan untuk perencanaan bangunan ini meliputi data tanah, bahan, dan data gedung. Adapun data gedung tersebut seperti siteplan, denah pembalokan, denah kolom, serta data-data lain yang diperlukan.

- Data Umum Eksisting Gedung
  - Nama Gedung : Apartemen Grand Kamala Lagoon Tower Emerald
  - Lokasi Gedung : Jalan Kyai Haji Noer Ali, Bekasi, Jawa barat
  - Fungsi : Gedung Apartemen (Hunian)
  - Struktur bangunan : Struktur Beton Bertulang
  - Jumlah Tower : 2
  - Jumlah Lantai : 42 lantai (Tipikal), 4 lantai *podium*, 3 lantai *basement*
  - Tinggi Bangunan : +165 meter
  - Tinggi per Lantai : 3,1 meter
  - Tinggi *Podium* : 4 meter
  - Tinggi *Basement* : 4 meter
  - Data Tanah : Terlampir
  - Data Gambar Struktur : Terlampir

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan yang direncanakan sebagai berikut :

- Data Umum Rencana Modifikasi Gedung
  - Nama Gedung : Apartemen Grand Kamala Lagoon Tower Emerald
  - Lokasi Gedung : Jalan Kyai Haji Noer Ali, Bekasi, Jawa barat
  - Fungsi : Gedung Apartemen (Hunian)
  - Struktur bangunan : Struktur Beton Bertulang
  - Elemen Pracetak : Kolom, Balok, Tangga dan Pelat Lantai
  - Jumlah Tower : 1 (Utara)

- Jumlah Lantai : 20 lantai (Tipikal), 1 lantai *basement*
- Tinggi Bangunan : 66 meter
- Tinggi per Lantai : 3,1 meter
- Tinggi *Basement* : 4 meter
- Data Tanah : Terlampir
- Data Gambar Struktur : Terlampir

Pada pengerjaan tugas akhir ini, penulis hanya merencanakan gedung dengan jumlah lantai adalah 20 dan 1 lantai *basement*. Berbeda dengan kondisi eksisting gedung tersebut yang terdiri dari 42 lantai gedung tipikal, 4 lantai podium dan 3 lantai *basement*. Hal ini dikarenakan mengingat jumlah sks pada tugas akhir hanya 6 sks serta ketersediaan waktu yang terbatas dalam penyusunan tugas akhir, maka dilakukan pemotongan jumlah lantai tersebut. Selain itu, yang membedakan dengan kondisi eksisting gedung tersebut adalah pada perencanaan tugas akhir ini hanya merencanakan satu tower yaitu tower 1 (utara) saja, sedangkan kondisi eksisting gedung tersebut adalah dua tower yaitu tower 1 (utara) dan tower 2 (selatan) yang dihubungkan dengan *shear wall*. Hal ini dikarenakan karakter gedung tinggi tersebut yaitu 42 lantai terjadi momen puntir (torsion) yang sangat besar pada area *shear wall* akibat desain gedung tersebut. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi berbagai masalah yang terlalu banyak timbul dari kondisi tersebut penulis membatasi hanya merencanakan gedung apartemen ini sejumlah satu tower saja yaitu tower 1 (utara). Untuk lebih jelas mengenai kondisi eksisting tower gedung dan perencanaan gedung pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar yang terdapat pada lampiran. Dalam perencanaannya, bangunan gedung ini akan direncanakan ulang menggunakan metode beton pracetak pada bagian kolom, balok induk, balok anak, dan pelat. Untuk gambar detail mengenai modifikasi tersebut dapat dilihat pada lampiran.



### 3.2 Studi Literatur dan Peraturan

#### 3.2.1 Penentuan Kriteria Desain

Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Apartemen Grand Kamala Lagoon Tower Emerald ini akan dibangun di Kota Bekasi. Berdasarkan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2, akan didapatkan kategori risiko dari Kota Bekasi. Selanjutnya, sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian.

**Tabel 3.1** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 3.2** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DS} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{DS} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DS}$	D	D

### 3.2.2 Peraturan Terkait Perencanaan Gedung

Peraturan yang digunakan pada perencanaan gedung ini meliputi:

- Tata Cara Perencanaan Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)
- Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2012)
- *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete* edisi keenam (PCI, 2004)
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG,1983)
- Peraturan Pembebanan untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1727:2013)

### 3.3 Preliminary Design

*Preliminary design* adalah desain awal atau estimasi jenis material, mutu material, serta dimensi material yang akan digunakan untuk membentuk struktur bangunan. Penentuan jenis, mutu, dan dimensi material ini mengacu pada *engineering judgement* yang dimiliki oleh seorang perencana. Dimensi material dalam gedung ini meliputi balok induk, balok anak, kolom, dan pelat. Nantinya, penentuan dimensi inilah yang akan digunakan untuk tahapan perencanaan selanjutnya.

#### 3.3.1 Perencanaan Dimensi Pelat

Dalam merencanakan pelat, terdapat spesifikasi tebal minimum dalam dimensi pelat. Tebal minimum tersebut dipengaruhi oleh jenis pelat tersebut, apakah pelat dua arah atau pelat satu arah.

- Pelat Dua Arah  
Sesuai dengan SNI 2847:2013, ketentuan tersebut berlaku untuk desain sistem slab yang ditulangi untuk lentur. Tebal minimum slab yang didesain sesuai dengan ketentuan tersebut harus seperti yang disyaratkan oleh SNI

2847:2013 pasal 9.5.3.1. Untuk mendesain tebal pelat dengan balok yang membentam di antara tumpuan pada semua sisinya dapat menggunakan rumus berikut:

- a. Untuk  $\alpha_{fm}$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2
  1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
  2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm;
- b. Untuk  $0,2 < \alpha_{fm} < 2$ , ketebalan minimum pelat harus memenuhi persamaan

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3.1)$$

(SNI 2847:2013, persamaan 9-12)

dan tidak boleh kurang dari 125 mm;

- c. Untuk  $\alpha_{fm} > 2$  ketebalan minimum pelat harus memenuhi

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (3.2)$$

(SNI 2847:2013, persamaan 9-13)

dan tidak boleh kurang dari 90 mm;

Dengan:

- $\ell_n$  = panjang bentang bersih
- $fy$  = tegangan leleh baja
- $\beta$  = rasio tulangan bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
- $\alpha_{fm}$  = nilai rata-rata  $\alpha_f$  untuk semua balok pada tepi panel
- Pelat Satu Arah  
Apabila jenis pelat yang digunakan adalah pelat satu arah, maka tebal minimum ditentukan berdasarkan rumus dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a) sebagai berikut:

$$\frac{\ell}{20} \quad (3.3)$$

### 3.3.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk

- Tinggi Balok

Dalam perencanaan balok, tinggi balok dapat ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.5.1 Tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

- $h_{min} = \frac{L}{16}$  digunakan apabila  $f_y = 420$  Mpa
- $h_{min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 - \frac{f_y}{700} \right)$  digunakan untuk  $f_y$  selain 420 Mpa
- $h_{min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003w_c)$  digunakan untuk nilai  $w_c$  1440

kg/m<sup>3</sup> sampai 1840 kg/m<sup>3</sup> ( 3.4 )

Dimana,      b            = Lebar balok  
                   h            = Tinggi balok  
                   Lb          = Panjang balok

### 3.3.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi ( $\phi$ ) dapat ditentukan.

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'} \quad ( 3.5 )$$

Dimana, W        = Beban aksial yang diterima kolom  
                    $f_c'$         = Kuat tekan beton karakteristik  
                   A         = Luas penampang kolom

## 3.4 Perencanaan Struktur Sekunder

### 3.4.1 Perhitungan Balok Anak

Beban-beban yang diterima oleh pelat selanjutnya akan didistribusikan ke balok anak. Beban tersebut dihitung sebagai beban ekuivalen trapezium, segitiga dan dua segitiga. Selanjutnya, dari hasil gaya dalam yang terjadi pada balok anak tersebut akan

digunakan untuk perencanaan penulangan lentur dan geser. Untuk penentuan dimensi balok anak perhitungan sama dengan perhitungan balok induk.

### 3.4.2 Perencanaan Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi injakan.

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \quad (3.6)$$

Dimana,  $t$  = tinggi injakan

$i$  = lebar injakan

$\alpha$  = sudut kemiringan tangga ( $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ )

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan pelat bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

### 3.4.3 Perencanaan Struktur Atap

Konstruksi atap direncanakan berfungsi sebagai pelindung komponen yang ada di bawahnya, dalam gedung ini melindungi mesin elevator. Atap direncanakan hanya sebagai beban bagi konstruksi utama sehingga dalam perhitungannya dilakukan secara terpisah.

### 3.4.4 Perencanaan Lift

Lift merupakan alat transportasi manusia dari satu lantai ke lantai lain dalam sebuah gedung. Perencanaan lift disesuaikan dengan jumlah lantai dan perkiraan jumlah penggunaan lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran (pit lift) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak membentur dasar landasan, di samping itu berfungsi menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya saat tali putus. Perencanaan ini meliputi

perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

### 3.5 Pembebanan

Dalam melakukan analisa perhitungan desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur tersebut. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 1727:2013

#### 1. Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG,1983) dan SNI 1727:2013 adalah sebagai berikut:

##### a. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh badan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran (SNI 1727:2013). Untuk lebih jelasnya mengenai besaran beban yang digunakan pada perencanaan kali ini yaitu seperti pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Beban Mati pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg/m <sup>3</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
Dinding pasangan bata merah (1/2 batu)	250 kg/m <sup>2</sup>
Kaca setebal 12 mm	30 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit + penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Lantai ubin semen <i>Portland</i>	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang dapat ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, akan tetapi kadang-kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu, faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan dalam perancangan beban hidup berdasarkan Peraturan Pembebanan SNI 1727:2013 pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Beban Hidup pada Struktur

<b>Beban hidup pada lantai gedung</b>	<b>Besar Beban</b>
Lantai Apartemen	192 kg/m <sup>2</sup>
Atap datar	96 kg/m <sup>2</sup>
Tangga Tetap ( per titik tinggi 3m)	113 kg
Beban pekerja	100 kg/m <sup>2</sup>

2. Beban gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012) di daerah Bekasi. Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, di mana pengaruh pada struktur dibebankan langsung ke pusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-

faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012 meliputi:

- Penentuan Respon Spektrum  
Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10 dalam SNI-03-1726-2012.
- Respon Seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.7)$$

(Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2012)

Di mana :

$S_{DS}$  = percepatan spektrum respons desain dalam rentan periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan hunian

Dengan nilai  $C_s$  max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I} \right)} \quad (3.8)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.9)$$

Di mana :

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1



$W$  = berat seismik efektif menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.7.2

### 3. Beban Angin (*Wind Load/WL*)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 :

- Untuk struktur rangka ruang dengan penampang melintang berbentuk bujur sangkar dengan arah angin  $45^\circ$  terhadap bidang-bidang rangka, koefisien angin untuk kedua bidang rangka di pihak angin masing-masing 0,65 (tekan) dan untuk kedua rangka di belakang angin masing-masing 0,5 (isap). Kecuali itu, masing-masing rangka harus diperhitungkan terhadap beban angin yang bekerja dengan arah tegak lurus pada salah satu bidang rangka, koefisien angin untuk rangka pertama di pihak angin adalah 1,6 (tekan) dan untuk rangka kedua di belakang angin adalah 1,2 (isap).
- Untuk atap segitiga majemuk, untuk bidang-bidang atap di pihak angin dengan  $\alpha < 65^\circ$  koefisien  $(0,2\alpha - 0,4)$  (tekan), dan untuk semua bidang atap di belakang angin untuk semua  $\alpha$  adalah 0,4 (isap).
- Tekanan tiup (beban angin) di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m<sup>2</sup>.
- Adapun kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1
  - $U = 1,4 D$
  - $U = 1,2 D + 1,6 L$
  - $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$  ( 3.10 )
  - $U = 1,0 D + 1,0 L$
  - $U = 0,9 D \pm 1,0 E$

Di mana:  $U$  = beban ultimate

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

$E$  = beban gempa

### 3.6 Permodelan dan Analisa Struktur

Permodelan struktur dimaksudkan untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku struktur tersebut diakibatkan pembebanan yang direncanakan, yaitu beban gravitasi dan gempa. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah  $x$  &  $y$ , torsi, dan geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser, dan torsi.

Permodelan struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut : menggambar bentuk model struktur, mendesain penampang dan material, memasukkan beban gravitasi dan beban gempa, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan *running*, setelah itu dilakukan pengecekan struktur terhadap persyaratan yang ada pada peraturan yang digunakan..

#### 3.6.1 Perhitungan Gaya Dalam

Analisa struktur dilakukan untuk mendapatkan gaya dalam yang selanjutnya digunakan untuk merancang elemen dan sambungan pada struktur. Perhitungan gaya-gaya dalam struktur utama menggunakan bantuan program SAP2000. Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam analisa struktur ini antara lain:

- a. Bentuk gedung.
- b. Dimensi elemen-elemen struktur dari *preliminary design*.
- c. Wilayah gempa.
- d. Pembebanan struktur dan kombinasi pembebanan.

#### 3.6.2 Kontrol persyaratan

Hasil dari analisis struktur gedung dikontrol menggunakan SNI 1726:2012, meliputi persyaratan:

- a. Jumlah ragam partisipasi massa.
- b. Geser dasar seismik ( $V$ ) dan Simpangan antar lantai ( $\Delta$ ).
- c. Koefisien respon seismik  $C_s$ .
- d. Periode waktu getar alami fundamental ( $T$ ).

Hasil rancangan elemen dan sambungan struktur dikontrol kekuatannya terhadap gaya dalam akibat beban-beban yang ada sesuai standar yang berlaku.

### 3.7 Perencanaan Penulangan Struktur

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendet

ailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

#### 3.7.1 Perencanaan Tulangan Balok

##### 3.7.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan dalam merencanakan tulangan lentur adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data  $d$ ,  $f_y$ ,  $f'_c$ , dan  $\mu$ .
2. Menentukan harga  $\beta_1$  sesuai peraturan berikut:  

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \quad (3.11)$$
 (SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3)
3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3.12)$$

(SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2))

$$\rho < 0.025 \quad (3.13)$$

(SNI 03-2847-2013 pasal (21.5.2.1))

$$\rho < 0.75\rho_b \quad (\text{SNI 2847:2013 lampiran B (10.3.3)})$$

$$\rho_{\min} = \frac{0.25x\sqrt{f'_c}}{f_y} \quad (3.14)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 10.5.1})$$

Dari kedua harga  $\rho$  min tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

4. Menentukan harga  $m$

$$m = \frac{fy}{0,85 f'c} \quad (3.15)$$

5. Menentukan  $Rn$

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 9.3}) \quad (3.16)$$

6. Menghitung rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2xmRn}{fy}} \right) \quad (3.17)$$

$$\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$$

7. Menentukan luas tulangan ( $A_s$ ) dari  $\rho$  yang didapat

$$\rho = \frac{A_s}{bxd} \quad \text{dengan,} \quad A_s = \rho x b x d \quad (3.18)$$

8. Menentukan jumlah tulangan

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{A_{s_{perlu}}}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \quad (3.19)$$

9. Menghitung jarak tulangan

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{b - n \times \phi L - 2d' - 2\phi S}{n - 1} \quad (3.20)$$

### 3.7.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi  $\phi V_n \geq V_u$ ,

Dimana:

$V_n$  = kuat geser nominal penampang

$V_u$  = kuat geser terfaktor pada penampang

$\phi$  = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Sedangkan untuk kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan tulangan ( $V_s$ ).

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.21)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2)

Dan untuk

$$V_c = 0,17 \alpha \sqrt{f' c} b_w d \quad (3.22)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3)

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1}) \quad (3.23)$$

Dimana:

$V_u$  = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_n$  = Kuat geser nominal

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser nominal tulangan geser

### 3.7.1.3 Kontrol Torsi

Akibat torsi harus diperhitungkan apabila memenuhi kriteria berikut:

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f' c}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (3.24)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1)

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \leq \phi T_n \quad (3.25)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20)

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2 \cdot A_0 \cdot A_t \cdot f_y}{s} \cot \theta \quad (3.26)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21)

Dimana:

$T_u$  = Momen torsi terfaktor

$T_n$  = Kuat momen torsi

$T_c$  = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$A_0$  = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser mm<sup>2</sup>

### 3.7.2 Perencanaan Tulangan Kolom

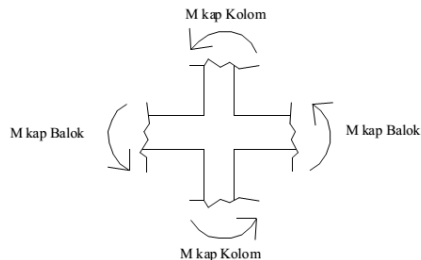
Untuk mendesain tulangan kolom, digunakan SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.1 untuk tulangan kolom akibat beban aksial tekan dan SNI 2847:2013 Pasal 23.5.1 untuk kebutuhan tulangan geser sebagai acuan.

#### 3.7.2.1 Persyaratan “*Strong Coloumn Weak Beams*”

Sesuai filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa,

$$\sum M_{n_c} \geq (1,2) \times \sum M_{n_b}$$

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Untuk  $M_{nc}$  didapatkan dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau guna mengontrol syarat *strong coloumn weak beam*. Setelah didapatkan jumlah tulangan kolom yang diperlukan, selanjutnya adalah mengontrol kapasitas kolom tersebut agar memenuhi persyaratan *strong coloumn weak beam* sesuai ilustrasi pada gambar 3.2 berikut.

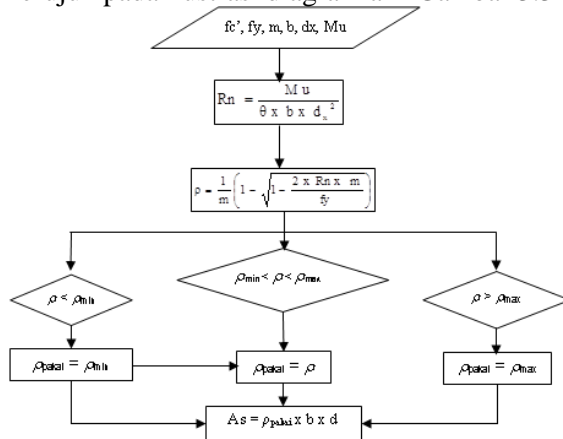


**Gambar 3.2** Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di Hubungan Balok Kolom

### 3.7.3 Perencanaan Tulangan Pelat

#### 3.7.3.1 Perhitungan Tulangan Lentur

Dalam mendesain tulangan lentur pada pelat dapat merujuk pada ilustrasi diagram alir Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Perhitungan Penulangan Komponen Lentur

#### 3.7.3.2 Perhitungan Tulangan Susut

Perhitungan kebutuhan tulangan susut merujuk pada peraturan SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1. Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:

- Slab yang menggunakan batang tulangan ulir Mutu 280 atau 350 adalah 0,0020
- Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las Mutu 420 adalah 0,0018
- Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen adalah  $\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$

### 3.7.3.3 Kontrol Retak Tulangan

Untuk menghindari retak-retak beton di sekitar baja tulangan, maka penggunaan tulangan lentur dengan kuat leleh melebihi 300 MPa perlu dilakukan kontrol terhadap retak sesuai SNI 2847:2013, Pasal 10.6.4.

Dengan:

$$Z = f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (3.27)$$

Dimana:

$Z \leq 30.000 \text{ N/mm}$  untuk penampang dalam ruangan,

$Z \leq 25.000 \text{ N/mm}$  untuk di luar ruangan,

$f_s$  = tegangan dalam tulangan yang dihitung pada kondisi beban kerja, boleh diambil sebesar  $0,60 f_y$  (MPa)

$d_c$  = tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat (mm)

$$A = \frac{2d_c b}{n} \quad (3.28)$$

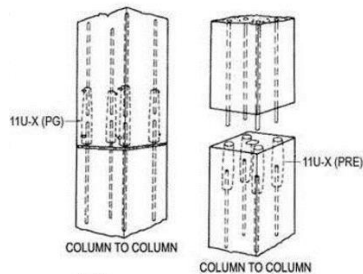
$A$  = Luas efektif beton tarik di sekitar tulangan lentur tarik dibagi dengan jumlah  $n$  batang tulangan atau kawat ( $\text{mm}^2$ )

## 3.8 Perencanaan Sambungan

### 3.8.1 Sambungan *Base Plate* – Kolom / Kolom – Kolom

Setelah dilakukan pemancangan dan pembuatan pile cap maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pengecoran pile cap. Pada penyambungan antar kolom dengan dimensi berbeda pada dasarnya sama seperti pada proses penyambungan antar kolom dengan dimensi sama, hanya saja pada tulangan panjang penyaluran pada kondisi ini lebih dilakukan penyesuaian terhadap lubang kolom yg berada di atasnya. Untuk metode penyambungannya di sini penulis menggunakan referensi dari produk *couple for splicing reinforcing bar* dari **NMB Splice Sleeve**. Maka dari itu, sambungan pada kolom-kolom dan antar shearwall ini tetap dinamakan sambungan basah (*wet connection*).

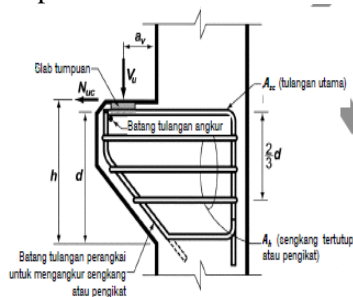




**Gambar 3.4** Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak dan Shearwall Pracetak Menggunakan *Coupler* dari Produk NMB Splice Sleeve

### 3.8.2 Sambungan Balok Pracetak dengan Kolom

Sambungan balok pracetak dengan kolom pada perencanaan Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon ini menggunakan sambungan tipe basah yaitu cor setempat yang terletak pada balok. Sambungan tersebut dipilih karena dinilai lebih efektif dalam kinerja, lebih mudah dikerjakan, dan lebih sederhana dalam metode penyambungannya. Detail sambungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5

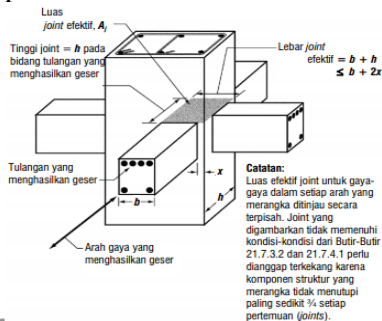


**Gambar 3.5** Sambungan Balok dan Kolom

Untuk mendapatkan sambungan yang bersifat monolit, harus memenuhi kriteria kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan kriteria yang bersangkutan. Sementara itu, harus dicek juga mengenai mekanisme *strong column weak beam*. Pada sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam

sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.8.

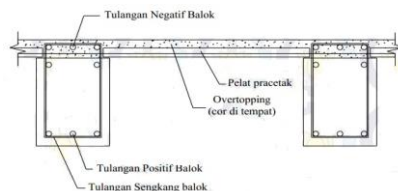
Kuat geser nominal,  $V_n$  pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.7.4. Untuk detail mengenai hubungan balok kolom dijelaskan pada Gambar 3.6



**Gambar 3.6** Hubungan Balok dan Kolom

### 3.8.3 Sambungan Balok Pracetak dengan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm. Seperti terlihat pada Gambar 3.7.

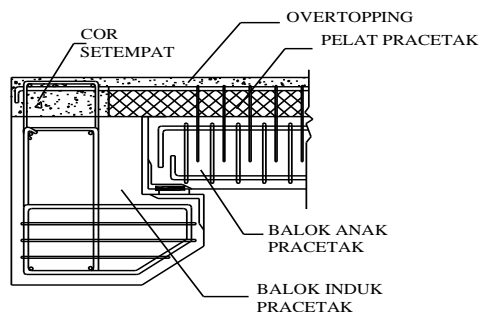


**Gambar 3.7** Sambungan Antara Balok dengan Pelat

### 3.8.4 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Dalam merencanakan suatu sambungan balok induk dan balok anak, Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya 1/180 kali bentang bersih komponen plat pracetak, tetapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk menghasilkan integritas struktur, maka tulangan utama atas dan bawah pada balok anak dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai dengan aturan SNI 2847:2013. Pada Gambar 3.8 diberikan gambaran mengenai sambungan tersebut.

Dalam perancangan sambungan balok induk dengan balok anak digunakan konsol pada balok induk. Balok anak diletakkan pada konsol pendek pada balok induk, kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk ini sama dengan perencanaan konsol pada kolom.



**Gambar 3.8** Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

### 3.8.5 Detail Penulangan Sambungan

#### 3.8.5.1 Geser Horizontal

- Pada pelat lantai dan balok pracetak, gaya geser yang terjadi adalah:

$$V_{vh} = T = C = A_s f_y \quad (3.29)$$

- Kuat geser horisontal menurut SNI 2847:2013, pasal 17.5.4 adalah :

$$\phi x V_{nh} = \phi x 0,6 x b_v x l_{vh} \quad (3.30)$$

- Menurut SNI 2847:2013, pasal 11.9.9.1 tulangan geser horizontal perlu :

$$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \quad (3.31)$$

### 3.8.5.2 Penyaluran Tulangan Dalam Tarik

Menurut SNI 03-2847-2013, pasal 12.2.2 adalah sebagai berikut:

$$l_{d(\min)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Untuk } D \leq 19 \text{ mm} : l_d = \left( \frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.32)$$

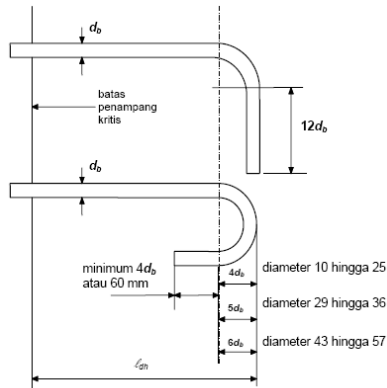
$$D \geq 22 \text{ mm} : l_d = \left( \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b \quad (3.33)$$

Dengan pengaruh dari faktor pengali pada Tabel 3.5

**Tabel 3.5** Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Tarik

$\psi_t$ = faktor lokasi penulangan	
Tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300mm beton segar dicor dibawah panjang penyaluran atau sambungan	1,3
Situasi lain	1,0
$\psi_e$ = faktor pelapis	
Batang atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$ atau spasi bersih kurang dari $6d_b$	1,5
Batang atau kawat tulangan berlapis epoksi lainnya	1,2
Tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (dikalvanis)	1,0
$\psi_s$ = faktor ukuran batang tulangan	
Batang D-19 atau lebih kecil atau kawat ulir	0,8
Batang D-22 dan yang lebih besar	1,0
$\lambda$ = faktor agregat ringan	
Apabila $f_{ct}$ ditetapkan	0,75
Beton normal	1,0

### 3.8.5.3 Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Tarik



**Gambar 3.9** Detail Kaitan untuk Penyaluran Kait Standar  
(Sumber: SNI 2847:2013)

Dijelaskan pada Gambar 3.8 mengenai detail kaitan. Menurut SNI 2847:2013, pasal 12.5.2 adalah sebagai berikut:

$$l_{h(\min)} = 8d_b \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran dasar dicari dengan rumus  $\ell$

$$d_h = \left( 0,24 \Psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'_c} \right) / d_b \quad (3.34)$$

Dengan faktor pengali pada Tabel 3.6

**Tabel 3.6** Faktor Pengali Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Tarik

Kondisi	Faktor
Selimit Beton , batang D-36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimit samping (normal terhadap bidang kait) tidak kurang dari 60 mm dan untuk kait 90° dengan tebal selimit terhadap kait tidak kurang dari 50 mm	0,70
Senggang, batang D-36 dan yang lebih kecil yang secara vertikal atau horisontal dilindungi oleh sengkang yang dipasang sepanjang $l_{dh}$ dengan spasi tidak lebih dari $3d_b$	0,80
Untuk kait 180 derajat dari batang tulangan D-36 dan yang lebih kecil yang dilingkupi dalam pengikat atau sengkang tegak lurus terhadap tulangan yang disalurkan tidak lebih besar dari $3d_b$	0,8

### 3.9 Perencanaan *Basement*

Dinding pada basement harus dirancang agar kokoh dan kuat, mengingat fungsinya sebagai retaining wall (penahan beban tekanan tanah dan air). Ketebalan dinding betonnya berkisar antara 15-17.5 cm, bergantung pada kedalaman lantai basement-nya. Sementara untuk mengantisipasi adanya rembesan air, dinding mutlak diberi lapisan waterproofing.

Struktur basement direncanakan menggunakan material beton bertulang dengan cor di lokasi. Adapun persyaratan yang lain sebagai berikut:

- **Penulangan Dinding *Basement***  
Penulangan dinding basement dihitung sesuai dengan peraturan dalam SNI 2847:2013.
- **Kontrol Ketebalan Dinding *Basement***  
Ketebalan dinding basement dikontrol sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013 pasal 22.6.6.3.
- **Penulangan Pelat Lantai *Basement***  
Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah. Penulangan pelat lantai basement dihitung sesuai dengan yang telah diatur dalam SNI 03-1729-2013.

### 3.10 Perencanaan Pondasi

Pada prosesnya, beban dari struktur atas akan diteruskan ke tanah melalui pondasi. Umumnya terdapat dua macam pondasi yang sering dipakai dalam konstruksi gedung, yaitu pondasi dangkal (shallow foundations) dan pondasi dalam (deep foundations). Pondasi dangkal umumnya digunakan untuk kasus-kasus konstruksi gedung sederhana (1 sampai 3 lantai) dengan beban standard dan bentang pendek. Beberapa contoh pondasi dangkal adalah pondasi batu kali, pondasi tapak, pondasi raft, dan pondasi rollag bata. Sedangkan untuk kasus gedung tingkat tinggi tentu menggunakan pondasi dalam seperti : pondasi tiang pancang (pilecap foundation) dan pondasi tiang bore (bore pile).

Pondasi pada gedung pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan tiang pancang beton pracetak. Perhitungan daya dukung tanah vertikal menggunakan formula dari Luciano Decourt, sedangkan kekuatan lateral dihitung dengan formula dari Sosrodaryono dan Nakazawa (2000). Pondasi dikontrol terhadap kekuatan bahan dan kekuatan tanah.

### 3.10.1 Daya Dukung Tiang Vertikal

Luciano Decourt memberikan formula daya dukung tiang vertikal sebagai berikut.

$$Q_L = Q_P + Q_S \quad (3.35)$$

$$q_p = N_p + K \quad (3.36)$$

$$Q_S = q_s A_s \quad (3.37)$$

$$Q_S = \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \quad (3.38)$$

### 3.10.2 Daya Dukung Tiang Horizontal

Daya dukung tiang horizontal dihitung berdasarkan beban pergeseran normal yang diizinkan pada kepala tiang, yaitu pergeseran paling maksimum pada ujung kepala tiang. Bila besarnya pergeseran normal sudah ditetapkan, maka daya dukung mendatar yang diizinkan dapat ditentukan. Formula berikut diberikan oleh Sosrodarsono dan Nakazawa (2000).

$$H_a = \left( \frac{4EI\beta^3}{1 + \beta h} \right) \delta_a \quad (3.39)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4EI}} \quad (3.40)$$

$$k = k_0 y^{-0.5} \quad (3.41)$$

$$k_0 = 0.2 E_0 D^{\frac{3}{4}} \quad (3.42)$$

$$E_0 = 28N \quad (3.43)$$

Dimana :

Ha = Kapasitas daya dukung horizontal tiang

E = Modulus elastisitas bahan

I = Momen inersia penampang

$\delta$  = pergeseran normal (diambil 1 cm)

k = koefisien reaksi tanah dasar

ko = 0,2 Eo D-3/4

y = besarnya pergeseran yang dicari

Eo = modulus elastisitas tanah (28N)

h = tinggi tiang di atas tanah

### 3.10.3 Kebutuhan Tiang Pancang

Pada gedung ini digunakan pondasi tiang dengan ilustrasi pada Gambar 3.9.

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (3.44)$$

$$2.5D \leq S \leq 5D$$

$$2.5D \leq S1 \leq 3D$$

Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

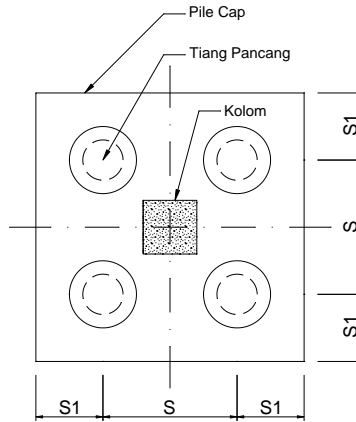
$$P_{satuTP} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{MyX_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{MxY_{\max}}{\sum y^2} \quad (3.45)$$

Efisiensi satu tiang pancang:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.46)$$

$$Pgrouptiang = \eta P_{ijin}$$





**Gambar 3.10** Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang

### 3.10.4 Perencanaan Terhadap Geser

- a. Kontrol geser satu arah

$$\phi V_c \geq V_u \quad (3.47)$$

$$\phi \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b_o d \geq V_u \quad (3.48)$$

- b. Kontrol geser dua arah (geser ponds)

Kuat geser yang disumbangkan beton diambil yang terkecil, sesuai *SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2*

$$V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.49)$$

atau

$$V_c = 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.50)$$

Di mana  $\alpha_s$  adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut, atau

$$V_c = 0.33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.51)$$

### **3.11 Metode Pelaksanaan**

Setelah perhitungan dan perancangan struktur, dilakukan pengurutan langkah-langkah pengerjaan melalui metode pelaksanaan. Metode pelaksanaan akan menggambarkan secara umum proses pekerjaan mulai dari fabrikasi beton pracetak hingga pekerjaan struktur selesai.

### **3.12 Gambar Teknis Hasil Perhitungan**

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan menggunakan *software* AutoCAD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan...”

## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 *Preliminary Design*

##### 4.1.1 Umum

Preliminary design merupakan proses perencanaan awal yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi struktur gedung. Perencanaan awal dilakukan menurut peraturan yang ada. *Preliminary design* yang dilakukan terhadap komponen struktur antara lain balok induk, balok anak, dinding geser, pelat, dan kolom. Sebelum melakukan *preliminary* sebaiknya dilakukan penentuan data perencanaan dan beban yang akan diterima oleh struktur gedung.

##### 4.1.2 Data Perencanaan

Sebelum perhitungan *preliminary design* perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima struktur gedung tersebut. Pada perencanaan Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi dimodifikasi menggunakan beton pracetak biasa dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Fungsi Bangunan : Gedung Apartemen
- Lokasi : Kota Bekasi, Jawa Barat
- Jumlah Lantai : 20 lantai *tower* dan 1 *basement*
- Ketinggian Lantai : a) Lantai basement = 4,00 m  
b) Lantai dasar s.d. 20 = 3,10 m
- Tinggi Bangunan : 66 m dari jalan raya
- Mutu beton ( $f'_c$ )
  - *Shearwall* dan Kolom : 35 Mpa
  - Balok dan Pelat : 35 MPa
- Mutu baja tulangan ( $f_y$ ) : 390 MPa
- Letak bangunan : Jauh dari pantai

### 4.1.3 Pembebanan

#### 1. Beban Statis

##### a. Beban Mati

- Berat volume beton bertulang : 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Tegel : 24 kg/m<sup>2</sup>
- Dinding ½ bata : 250 kg/m<sup>3</sup>
- Plafond : 11 kg/m<sup>2</sup>
- Penggantung : 7 kg/ m<sup>2</sup>
- Plumbing + ducting : 25 kg/ m<sup>2</sup>
- Spesi : 21 kg/ m<sup>2</sup>

##### b. Beban Hidup

- Beban atap : 96 kg/ m<sup>2</sup>
- Lantai : 192 kg/ m<sup>2</sup>
- Pelat tangga dan Bordes : 192 kg/ m<sup>2</sup>

#### 2. Beban Angin

- Jauh dari pantai : 25 kg/ m<sup>2</sup>

#### 3. Beban Gempa

- Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726:2012.

### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi dalam tugas akhir ini menggunakan balok *precast* yang penampangnya berbentuk persegi (*rectangular beam*). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem pabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke lokasi proyek lalu dilakukan *overtopping* (*cast in situ*) setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan sistem tersebut maka akan terbentuk struktur yang monolit.

Dimensi balok yang diisyaratkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada Tabel 9.5.1 adalah sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b$$

Untuk  $f_y$  selain 420 MPa, nilai dikalikan dengan  $(0,4 + \frac{f_y}{700})$  sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a)).

Untuk lebar balok diambil  $2/3$  dari tinggi balok :

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

dimana:  $b$  = lebar balok  
 $h$  = tinggi balok  
 $L_b$  = lebar kotor dari balok

#### 4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 35 MPa dan mutu tulangan baja 390 MPa sehingga digunakan:

##### ➤ Balok Induk Memanjang BI 1 (L = 6 m)

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b = \frac{1}{16} \times 600 \text{ cm} = 37,5 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 37,5 \times (0,4 + f_y/700) = 35,893 \text{ cm}$$

maka digunakan  $h = 60 \text{ cm}$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 35,893 \text{ cm} = 23,929 \text{ cm}$$

$b_{\min} = 23,929 \text{ cm}$  digunakan  $b = 40 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 40/60.

##### ➤ Balok Induk Melintang BI 2 (L = 8,75 m)

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times L_b = \frac{1}{16} \times 875 \text{ cm} = 54,688 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 54,688 \times (0,4 + f_y/700) = 52,344 \text{ cm}$$

maka digunakan  $h = 75 \text{ cm}$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 52,344 \text{ cm} = 34,896 \text{ cm}$$

$b_{\min} = 34,896 \text{ cm}$  digunakan  $b = 50 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok induk melintang dengan dimensi 50/75.

Berikut adalah **Tabel 4.1** merupakan rekapitulasi hasil perhitungan dimensi balok induk pada perencanaan struktur gedung ini:

**Tabel 4.1** Rekapotulasi Hasil Perhitungan Dimensi Balok Induk

Kode	Lb	h min	h	b	h pakai	b pakai	Dimensi
	Cm	Cm	cm	cm	cm	cm	cm2
BI 1	875	43.75	41.875	27.917	75	50	50/75
BI 2	700	54.688	52.344	34.896	75	50	50/75
BI 1	875	43.75	41.875	27.917	70	50	50/70
BI 4	600	52.11	51.33	36.89	60	40	40/60

NB: Untuk lebih jelas mengenai detail ukuran balok induk yang terpasang dapat dilihat pada Gambar Denah Pembalokan (lampiran).

#### 4.1.4.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 35 MPa dan mutu baja 390 MPa sehingga digunakan:

➤ **Balok Anak Memanjang BA 1(L = 6 m)**

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times L_b = \frac{1}{21} \times 600 \text{ cm} = 28,571 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 28,571 \times (0,4 + f_y/700) = 27,347 \text{ cm}$$

maka digunakan  $h = 50 \text{ cm}$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 27,34 \text{ cm} = 18,231 \text{ cm}$$

$b_{\min} = 18,231 \text{ cm}$  digunakan  $b = 35 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 35/50.

➤ **Balok Anak Melintang BA 2 (L = 8,75 m)**

$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times L_b = \frac{1}{21} \times 875 \text{ cm} = 41,667 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 41,667 \times (0,4 + f_y/700) = 39,881 \text{ cm}$$

maka digunakan  $h = 70 \text{ cm}$

$$b_{\min} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 39,881 \text{ cm} = 26,587 \text{ cm}$$

$b_{\min} = 26,587 \text{ cm}$  digunakan  $b = 50 \text{ cm}$

Maka direncanakan dimensi balok induk memanjang dengan dimensi 50/70.

Berikut adalah **Tabel 4.2** merupakan rekapitulasi hasil perhitungan dimensi balok induk pada perencanaan struktur gedung ini:

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Hasil Perhitungan Dimensi Balok Anak

Kode	Lb	h min	H	b	h pakai	b pakai	Dimensi
	cm	Cm	Cm	cm	cm	cm	cm2
BA 1	600	28.571	27.347	18.231	50	35	40/60
BA 2	700	33.333	31.905	21.27	60	40	40/60
BA 3	875	41.667	39.881	26.587	70	50	50/70

NB: Untuk lebih jelas mengenai detail ukuran balok anak yang terpasang dapat dilihat pada Gambar Denah Pembalokan (lampiran).

#### 4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

##### 4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Peraturan penentuan tebal pelat minimum satu arah dan dua arah menggunakan persyaratan pada SNI 2847:2013. Untuk memenuhi syarat lendutan, tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5 tabel 9.5(a).

##### 4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

Pelat pracetak yang akan direncanakan berupa pelat lantai dengan 4 tipe pelat yang memiliki ukuran berbeda-beda, yaitu : Tipe A, B, C dan D.

- Pelat tipe A :  $600 \times 291,7 \text{ cm}^2$ 
  - Tipe A parsial :  $252,2 \times 120 \text{ cm}^2$



- Pelat tipe B :  $875 \times 300 \text{ cm}^2$ 
  - Tipe B parsial :  $250 \times 120 \text{ cm}^2$
- Pelat tipe C :  $700 \times 266,7 \text{ cm}^2$ 
  - Tipe C parsial :  $222 \times 940 \text{ cm}^2$
- Pelat tipe D :  $800 \times 400 \text{ cm}^2$ 
  - Tipe A parsial :  $357,5 \times 150 \text{ cm}^2$

Ketiga tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Mutu beton : 35 MPa
- Mutu baja tulangan ( $f_y$ ) : 390 MPa

Untuk perencanaan tebal pelat diambil pelat dengan dimensi terluas dengan tebal sebesar 14 cm.

Dalam perencanaan ini, pelat berupa pelat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan elemen pracetak tersebut dilanjutkan (pekerjaan *overtopping*). Denah pelat yang akan direncanakan disajikan dalam gambar 4.2 berikut ini : Untuk perhitungan pelat satu arah adalah sebagai berikut:

Ukuran Pelat A adalah  $600 \text{ cm} \times 291,7 \text{ cm}$

$$L_n = 600 - \left( \frac{35}{2} + \frac{35}{2} \right) = 565 \text{ cm}$$

$$S_n = 300 \left( \frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 250 \text{ cm}$$

#### 4.1.5.3 Kontrol Tebal Pelat

Untuk pelat tipe A dengan dimensi  $875 \text{ cm} \times 300 \text{ cm}$  nilai  $\beta$  adalah

$$\beta = \frac{565}{250} = 2,26 > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

#### 4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang ditinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Pada tugas akhir ini, kolom yang hendak direncanakan memikul beban pada luasan pelat ukuran  $600 \times 300 \text{ cm}$  di titik As H-10 dengan peninjauan per 4 lantai.

#### 4.1.6.1 Beban yang diterima basement dan lantai tipikal

##### a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom sebagai contoh yaitu Lantai 1 s.d 4 adalah sebagai berikut:

Pelat	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 0,14\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 17640 \text{ kg}$
Balok induk	
Memanjang	: $6\text{m} \times 0,6\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 3456 \text{ kg}$
Melintang	: $8,75\text{m} \times 0,6\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 7875 \text{ kg}$
Balok anak	
Memanjang	: $6\text{m} \times 0,5\text{m} \times 0,35\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 = 5040 \text{ kg}$
Melintang	: $0 \text{ kg}$
Kolom	: $0,8\text{m} \times 0,8\text{m} \times 3,1\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 = 4761 \text{ kg}$
Langit-Langit & Penggantung	
	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 18 \text{ kg/m}^2 = 945 \text{ kg}$
Spesi (1cm)	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 21 \text{ kg/m}^2 = 1102,5 \text{ kg}$
Dinding bata	: $8,75\text{m} \times 2,8 \text{ m} \times 250 \text{ kg/m}^2 = 6125\text{kg}$
Plumbing	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 10 \text{ kg/m}^2 = 525 \text{ kg}$
Sanitasi	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 20 \text{ kg/m}^2 = 1050 \text{ kg} +$
Berat Total (DL) / lantai	= $48520,1 \text{ kg}$

##### b. Beban hidup

Beban lantai	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 192 \text{ kg/m}^2 = 10080 \text{ kg} +$
Berat Total (LL)	= $81000 \text{ kg}$

#### 4.1.6.2 Beban yang diterima lantai atap

##### a. Beban mati

Beban mati yang diterima kolom adalah sebagai berikut:

Pelat	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 0,14\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 17640 \text{ kg}$
Balok induk	
Memanjang	: $6\text{m} \times 0,6\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 3456 \text{ kg}$
Melintang	: $8,75\text{m} \times 0,6\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 7875 \text{ kg}$
Balok anak	
Memanjang	: $6\text{m} \times 0,5\text{m} \times 0,35\text{m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2 = 5040 \text{ kg}$
Melintang	: $0 \text{ kg}$
Langit-Langit & Penggantung	
	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 18 \text{ kg/m}^2 = 945 \text{ kg}$
Spesi (1cm)	: $8,75\text{m} \times 6\text{m} \times 21 \text{ kg/m}^2 = 1102,5 \text{ kg}$

Dinding bata	: 8,75m x 2,8 m x 250 kg/m <sup>2</sup>	= 6125kg
Plumbing	: 8,75m x 6m x 10 kg/m <sup>2</sup>	= 525 kg
Sanitasi	: 8,75m x 6m x 20 kg/m <sup>2</sup>	= 1050 kg +
Berat Total (DL) / lantai		= 48520,1 kg

**b. Beban hidup**

Beban atap	: 8,75m x 6m x 96 kg/m <sup>2</sup>	= 5040
Beban Hujan	: 8,75m x 6m x 20 kg/m <sup>2</sup>	= 1050 kg +
Berat Total (LL)		= 6090 kg

Pada pembebanan struktur ini digunakan ketentuan dari SNI 1727:2013 yang menetapkan besar beban hidup untuk lantai sebesar 196 kg/m<sup>2</sup> dan untuk lantai atap sebesar 96 kg/m<sup>2</sup>.

Koefisien Reduksi untuk beban hidup untuk hotel (PPIUG tabel 3.3) = 0,75. Jadi, total beban untuk lantai *basement* untuk beban hidup :

$$L_L = 0,75 \times W_{Ltotal}$$

$$L_L = 0,75 \times 217770 \text{ kg}$$

$$= 152439 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat total} &= 1,2 D_L + 1,6 L_L \\ &= 1,2 (1034144.6) + 1,6 (152439) \\ &= 1484875.92 \text{ kg} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 (b) aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi ( $\phi=0,65$ ).

$$\text{Mutu beton} = 40 \text{ MPa} = 40 \times 10 = 400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Rencana awal} \rightarrow A = \frac{W_{total}}{\phi \times f_{c'}} = \frac{1484875.92}{400 \times 0,65} = 5711 \text{ cm}^2$$

$$\text{Misalkan } b=h, \text{ maka } b^2 = 5711 \text{ cm}^2$$

$$b = 75,6 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}$$

Agar lebih efisien dalam perencanaan gedung ini maka dimensi kolom,  $b = h$  sebagai berikut :

- *Basement* = 80 cm
- Lantai 1 s.d. 4 = 80 cm

- Lantai 5 s.d. 8 = 70 cm
- Lantai 9 s.d. 12 = 60 cm
- Lantai 13 s.d. 16 = 60 cm
- Lantai 17 s.d. 20 = 50 cm

#### 4.1.7 Perencanaan Tebal Dinding Geser (*Shear Wall*)

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari  $1/25$  tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil dan tidak kurang dari 100 mm. Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser direncanakan sebagai berikut :

Tebal dinding geser	= 40 cm
Panjang bentang dinding	= 600 cm
Tinggi dinding	= 400 cm
$T \geq H/25 = 310/25$	= 12,4 cm
$T \geq L/25 = 800/25$	= 32 cm

Dengan demikian tebal dinding geser 35 cm memenuhi syarat yang telah ditentukan.

## 4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

### 4.2.1 Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 14 cm dengan perincian tebal pelat pracetak 8 cm dan pelat cor setempat / *overtopping* 6 cm. Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada struktur pelat adalah Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Rumah dan Gedung (SNI 1727:2013). Desain pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu:

1. Sebelum komposit, keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran *topping* yaitu komponen pracetak dan komponen *topping* belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.
2. Sesudah komposit, keadaan ini terjadi apabila *topping* dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam

memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Permodelan pelat utama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit akan digunakan untuk perhitungan tulangan pelat. Pelat pada saat awal pemasangan atau saat sebelum komposit diasumsikan memiliki perletakan bebas dengan tulangan lapangan saja.

Sedangkan pada saat setelah komposit diasumsikan sebagai perletakan terjepit elastis. Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan yang direncanakan. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

#### 4.2.1.1 Data Perencanaan Pelat

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan *preliminary design* adalah :

- Tebal pelat = 14 cm
- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Diameter tulangan rencana (D) = 10 mm

#### 4.2.1.2 Pembebanan Pelat Lantai

##### ➤ Sebelum Komposit

- Beban Mati (DL)  
 Berat Sendiri =  $(0,08+0,06) \times 2400 = 336 \text{ kg/m}^2$   
 DL =  $336 \text{ kg/m}^2$

- Beban Hidup (LL)  
 Beban Kerja (2 orang) LL =  $200 \text{ kg/m}^2$

##### ➤ Setelah Komposit

- Beban Mati (DL)  
 Berat Sendiri =  $0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}^2$   
 Plafond + Penggantung =  $11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2$

- |              |                      |                        |
|--------------|----------------------|------------------------|
| Tegel (2 cm) | $= 0,02 \times 2100$ | $= 48 \text{ kg/m}^2$  |
| Sanitasi     |                      | $= 20 \text{ kg/m}^2$  |
| Plumbing     |                      | $= 10 \text{ kg/m}^2$  |
| Spesi (2 cm) | $= 0,02 \times 2100$ | $= 42 \text{ kg/m}^2$  |
|              | DL                   | $= 474 \text{ kg/m}^2$ |
- Beban Hidup (LL)
  - Beban Hidup pada Lantai LL  $= 192 \text{ kg/m}^2$

#### 4.2.1.3 Pembebanan Pelat Atap

##### ➤ Sebelum Komposit

- Beban Mati (DL)
 

Berat Sendiri	$= (0,08+0,06) \times 2400$	$= 336 \text{ kg/m}^2$
	DL	$= 336 \text{ kg/m}^2$
- Beban Hidup (LL)
 

Beban Kerja	$= 100 \text{ kg/m}^2$
Beban air hujan	$= 20 \text{ kg/m}^2 +$
	LL $= 120 \text{ kg/m}^2$

##### ➤ Setelah Komposit

- Beban Mati (DL)
 

Berat Sendiri	$= 0,14 \times 2400$	$= 336 \text{ kg/m}^2$
Plafond + Penggantung	$= 11 + 7$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Aspal (1 cm)	$= 0,01 \times 1400$	$= 14 \text{ kg/m}^2$
Sanitasi		$= 20 \text{ kg/m}^2$
Plumbing		$= 10 \text{ kg/m}^2$
Spesi (2 cm)	$= 0,02 \times 2100$	$= 42 \text{ kg/m}^2$
	DL	$= 440 \text{ kg/m}^2$
- Beban Hidup (LL)
 

	LL	$= 96 \text{ kg/m}^2$
--	----	-----------------------

Sesuai SNI 1727:2013 pasal 4.7, beban hidup dapat direduksi 20% untuk komponen yang menumpu 2 lantai atau lebih.

Beban hidup  $= 0,8 \times 120 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$

#### 4.2.1.4 Kombinasi Pembebanan Pelat

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 (9-2) didapatkan :

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

➤ Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai**:

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja  
 $Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 200 = 550,4 \text{ kg/m}^2 \text{ (Pakai)}$
- Keadaan 2 sebelum komposit, *topping* telah terpasang  
 $Q_u = 1,2 \times 336 + 1,6 \times 0 = 403,2 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 3, setelah komposit  
 $Q_u = 1,2 \times 474 + 1,6 \times 192 = 876 \text{ kg/m}^2$

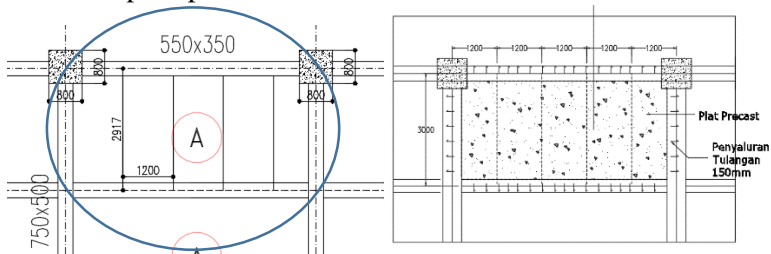
➤ Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap** :

- Keadaan 1, ada beban kerja  
 $Q_u = 1,2 \times 192 + 1,6 \times 120 = 422,4 \text{ kg/m}^2 \text{ (Pakai)}$
- Keadaan 2, *topping* telah terpasang  
 $Q_u = 1,2 \times 336 + 1,6 \times 0 = 403,2 \text{ kg/m}^2$
- Keadaan 3, setelah komposit  
 $Q_u = 1,2 \times 440 + 1,6 \times 96 = 664,8 \text{ kg/m}^2$

#### 4.2.1.5 Perhitungan Tulangan Pelat

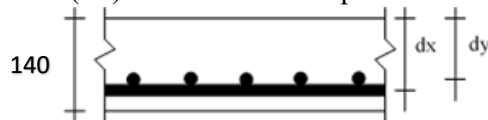
Perhitungan pelat terdiri dari berbagai tipe yaitu tipe pelat A,B,C, dan D. Selanjutnya akan ditampilkan mengenai contoh perhitungan penulangan pada pelat tipe A dengan dimensi total adalah 6 x 3 m (As balok – As balok) dengan pengerjaan per parsial yaitu dimensi per pelat parsial adalah 3 x 1,2 m. Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan

pelaksanaan. Berikut ini merupakan contoh penulangan pada pelat lantai A seperti pada **Gambar 4.1**, antara lain :



**Gambar 4.1** Denah Pelat Tipe A

- Menentukan data perencanaan untuk penulangan pelat A:  
 Dimensi area pelat A : 600 cm × 291,7 cm  
 Dimensi pelat parsial : 252,5 cm x 120 cm (Tinjau)  
 Tebal pelat pracetak : 80 mm (sebelum komposit)  
 Tebal *overlapping* : 60 mm  
 Tebal selimut beton : 20 mm  
 Diameter tulangan rencana : 10 mm  
 Mutu tulangan baja ( $f_y$ ) : 390 MPa  
 Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 Mpa



**Gambar 4.2** Potongan Pelat Tipe A

- Kondisi sebelum komposit:  

$$dx = 80 - 20 - \frac{10}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$dy = 80 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 45 \text{ mm}$$
- Kondisi sesudah komposit  

$$dx = 140 - 20 - \frac{10}{2} = 115 \text{ mm}$$

$$dy = 140 - 20 - 10 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$



- Untuk mutu beton  $f'_c = 35$  MPa berdasarkan 2847:2013 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

- Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut:

$$As_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.1 didapat  $\phi = 0,9$

$p_{\min} = 0,0014$  sesuai SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$L_y = 267$  cm dan  $L_x = 120$  cm

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{L_y}{L_x} > 2 \quad (\text{pelat satu arah})$$

Pada penulangan pelat satu arah hanya terdapat satu tulangan utama berupa tulangan lentur yaitu searah melintang pelat. Sedangkan tulangan yang terdapat pada arah memanjang pelat merupakan tulangan pembagi yang berfungsi untuk menahan susut dan suhu.

Penulangan pokok pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan pokok maupun tulangan bagi direncanakan menggunakan tulangan D10 mm ( $As = 78,54 \text{ mm}^2$ ).

#### 4.2.1.6 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Penulangan Pelat A sebelum komposit diasumsikan sebagai pelat dengan perletakan bebas di atas dua tumpuan. Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

➤ **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$\begin{aligned} \text{Mulx}^{(+)} &= \text{Mutx}^{(-)} = \text{Mu} = 1/8 \times \text{Qu} \times \text{Ly}^2 \\ &= 1/8 \times 550,4 \times 2,525^2 = 585,4115 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{585,4115}{0,9} = 650,457 \text{ kg.m}$$

$$\text{Mn} = 650457,292 \text{ kg.mm}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{b \times d^2} = \frac{650457,292}{55 \times 1000} = 0,215 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times \text{Rn}}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,215}{39}} \right) = 0,00573 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}} = 0,00573$  dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\text{As}_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,00573 \times 1000 \times 56 = 315,074 \text{ mm}^2$$

$$\text{n tulangan,} = \frac{\text{As}_{\text{perlu}}}{\text{As tulangan}} = \frac{315,074}{78,54} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{jarak tulangan (S}_{\text{rencana}}) = 1000/5 = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Dimana S}_{\text{maks}} = 3 \times t_{\text{pelat}} = 3 \times 80 = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Maka diambil S}_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm sehingga,}$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \text{jumlah tulangan/meter} \times \text{A D}_{10} \\ &= 5 \times 78,54 \text{ mm}^2 \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 > \text{As perlu ..... OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-200 mm.

➤ **Penulangan arah Y (tulangan bagi)**

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\text{min}} = 0,0014$  (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\text{As}_{\text{perlu}} = 0,0014 \times b \times d_y = 0,0014 \times 1000 \times 45 = 63 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$ , maka:  
 $\leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm}$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D10}}} = \frac{63}{78,54} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

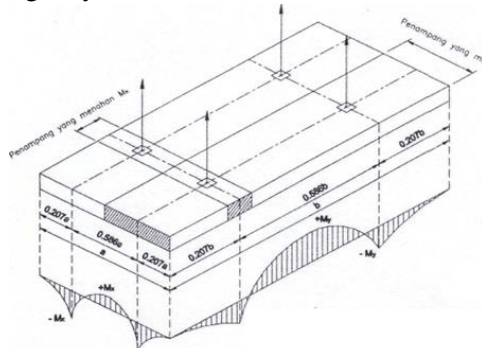
Maka digunakan  $S_{\text{pakai}} = S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$  sehingga didapatkan

$$\text{jumlah tulangan (n) pakai: } = \frac{1000}{400} = 2,5 \approx 3 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan susut D10-400 mm.

#### 4.2.1.7 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (*erection*). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan referensi *PCI Design Handbook* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 di mana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



**Gambar 4.3** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)  
 (Sumber: *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete*)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe (parsial) A:  $291,7 \times 120 \text{ cm}^2$  ( $L_x = 120 \text{ cm}$ ,  $L_y = 291,7 \text{ cm}$ )

Ditentukan  $a = 1,2 \text{ m}$  dan  $b = 2,525 \text{ m}$

Dengan  $w = (0,08 \times 2400) = 192 \text{ kg/m}$

Maka:

$$M_x = 0,0107 \times 192 \times 1,2^2 \times 2,525 = 8,63 \text{ kg.m}$$

$$M_y = 0,0107 \times 192 \times 1,2 \times 2,525^2 = 20,976 \text{ kg.m}$$

➤ **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$M_u = 20,97 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{20,976}{0,9} = 23,307 \text{ kg.mm}$$

$$M_n = 23307,548 \text{ kg.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{23307,548}{1000 \times 55^2} = 0,00743 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,00743}{39}} \right) = 0,000191 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} = 0,0020$  dipakai  $\rho_{\text{min}} = 0,0014$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0014 \times 1000 \times 56 = 77 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$ , maka:

$$\leq 3 \times 80 = 240 \text{ mm}$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{77}{78,54} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $S_{\text{pakai}} = S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$  sehingga didapatkan

$$\text{jumlah tulangan (n) pakai: } = \frac{1000}{240} = 4,16 \approx 5 \text{ buah}$$

jarak tulangan (s) = 240 mm

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D_{10}} \\ &= 5 \times 50,27 \text{ mm}^2 \\ &= 151,32 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-240 mm.

➤ **Penulangan arah Y (tulangan bagi)**

$$M_u = 8,629 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8,629}{0,9} = 9,58 \text{ kg.mm}$$

$$M_n = 9588,29 \text{ kg.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{9588,29}{1000 \times 45^2} = 0,00473 \text{ kg/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,00473}{39}} \right) = 0,000122 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}} = 0,0020$  dipakai  $\rho_{\text{min}} = 0,0014$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0014 \times 1000 \times 56 = 77 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$n \text{ tulangan, } = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{77}{78,54} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $S_{pakai} = S_{maks} = 400$  mm sehingga didapatkan

$$\text{jumlah tulangan (n) pakai: } = \frac{1000}{400} = 2,5 \approx 3 \text{ buah}$$

jarak tulangan (s) = 400 mm

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D_{10}} \\ &= 5 \times 50,27 \text{ mm}^2 \\ &= 151,32 \text{ mm}^2 > \text{As perlu ..... OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-400 mm.

#### 4.2.1.8 Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$$Q_u = 876 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 115 \text{ mm}$$

$$d_y = 105 \text{ mm}$$

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{2,917}{1,2} = 2,43 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

##### ➤ Penulangan arah X (tulangan utama)

$$\begin{aligned} M_{ulx}^{(+)} &= M_{utx}^{(-)} = M_u = 1/8 \times Q_u \times L_y^2 \\ &= 1/8 \times 876 \times 2,525^2 \\ &= 931,72 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{931,72}{0,9} = 1035,248 \text{ kg.m} = 1035248,162 \text{ kg.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1035248,162}{1000 \times 115^2} = 0,078 \text{ kg/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 0,078}{39}} \right) = 0,002034$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$ , maka:  
 $\leq 3 \times 140 = 420 \text{ mm}$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}} = 0,0014$  dipakai  $\rho_{\text{perlu}} = 0,002034$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,002034 \times 1000 \times 115 = 233,944 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} = \frac{233,944}{78,54} = 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{3} = 333 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 240 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D_{10}} \\ &= 5 \times 78,54 \text{ mm}^2 \\ &= 235,61 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur D10-333 mm.

#### ➤ **Penulangan arah Y (tulangan bagi)**

Pada saat melakukan pengecoran *overtopping* pada lantai tersebut digunakan tulangan susut arah memanjang dan melintang pelat. penulangan ini dipasang untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\text{min}} = 0,0014$  (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= 0,0014 \times b \times d_y \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 48 = 63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$ , maka:  
 $\leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm}$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ D10}}} = \frac{63}{78,54} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 400 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $S_{pakai} = S_{maks} = 400$  mm sehingga didapatkan jumlah tulangan (n) pakai:  $= \frac{1000}{400} = 2,5 \approx 3$  buah

Maka digunakan tulangan susut D10-400 mm.

#### 4.2.1.9 Penulangan *Overtopping*

##### ➤ Penulangan arah X dan Y

Pada saat melakukan pengecoran *overtopping* pada lantai tersebut digunakan tulangan susut arah memanjang dan melintang pelat. penulangan ini dipasang untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{min} = 0,0014$  (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{S_{perlu}} &= 0,0014 \times b \times d_y \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 48 = 63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 80 = 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{S_{perlu}}}{A_{S \text{ D10}}} = \frac{63}{78,54} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ mm} > S_{maks} = 400 \text{ mm}$$

Maka digunakan  $S_{pakai} = S_{maks} = 400$  mm sehingga didapatkan jumlah tulangan (n) pakai:  $= \frac{1000}{400} = 2,5 \approx 3$  buah

Maka digunakan tulangan susut D10-400 mm.

#### 4.2.1.10 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan *topping* cor setempat maka transfer gaya regangan horizontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh *topping* cor setempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor di tempat maka dipakai tulangan *stud*.

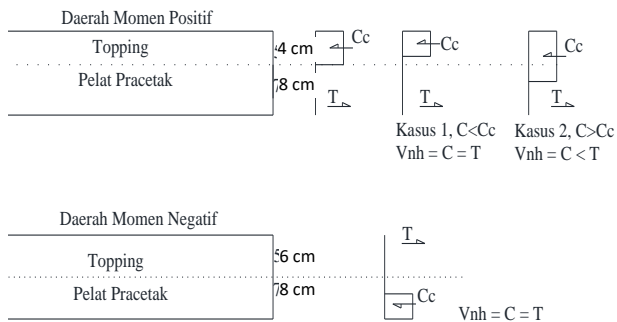


*Stud* ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horizontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik di dalam sembarang *segmen* dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horizontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horizontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



**Gambar 4.4** Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

Perhitungan stud pelat parsial  $291,7 \text{ cm} \times 120 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times A_{\text{topping}} \\
 &= 0,85 \times 350 \text{ kg/cm}^2 \times (8 \times 100) \text{ cm}^2 \\
 &= 238000 \text{ kg} = 2380 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Dipakai stud Ø12 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,0973 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{nh} &= C = T = A_s \times f_y = 113,0973 \text{ mm}^2 \times 390 \text{ MPa} \\ &= 44107,947 \text{ N} = 44,107 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\ &= 0,55 \times 1000 \times 116 = 63800 \text{ N} = 63,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{nh} < 0,55.b_v.d \text{ .....(OK)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontakannya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser  $V_{nh}$  tidak boleh diambil lebih dari  $0,55.b_v.d$  dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horizontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$S_{maks} = 4 \times 80 \text{ mm} = 320 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

maka,  $S_{pakai} = 300 \text{ mm}$

➤ SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.3:

$$A_{v_{min}} = 0,0062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w \times s}{f_y} = 0,062 \sqrt{35} \frac{1000 \times 150}{240} = 229,25 \text{ mm}^2$$

$$A_v \geq (0,35 b_w S) / f_y = (0,35 \times 1000 \times 150) / 240 = 218,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{maka, } A_{v_{min}} = 141,076 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan stud Ø10 dengan  $A_v = 376,991 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (*shear connector*) Ø10-150 mm

( $A_v = 376,991 \text{ mm}^2$ ).

#### 4.2.1.11 Kontrol Retak

Pada SNI 2847:2013 pasal 10.6.4 : spasi tulangan terdekat ke muka tarik,  $s$ , tidak boleh melebihi yang diberikan oleh  $s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5C_c \leq 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$ .

Di mana :

$C_c$  = jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka tarik

= decking +  $\phi$  sengkang +  $\frac{1}{2} \phi$  tulangan

=  $20 + 0 + \frac{1}{2} \times 12 = 26 \text{ mm}$

$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} \times 390 = 260 \text{ MPa}$

$$s = 380 \left( \frac{280}{260} \right) - 2,5 \times 26 \leq 300 \left( \frac{280}{260} \right)$$

$$s = 344,23 \text{ mm} \leq 355,07 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:2013 :

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 8 = 64 \text{ mm}$  (SNI 2847:2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$  (SNI 2847:2013 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} = (0,24 f_y \sqrt{f'_c}) / d_b$  (SNI 2847:2013 pasal 12.5.2)

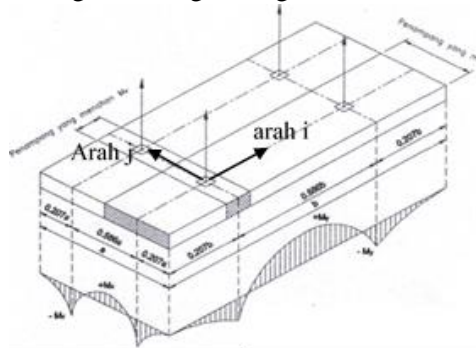
$$= (0,24 \times 390 \times \sqrt{35}) / 8 = 69,21 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

#### 4.2.1.12 Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe A dengan dimensi 252,5 cm x 120 cm dengan empat titik pengangkatan (*four point pick up*).

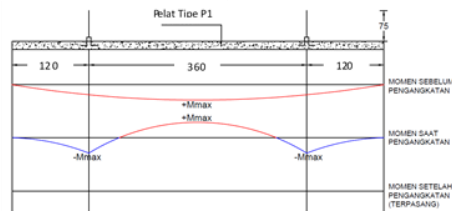
a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat



**Gambar 4.5** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)  
(Sumber: *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete*)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
- Pada perhitungan beban *ultimate* ditambahkan koefisien kejut ( $k = 1,2$ ) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,08 \times 2,525 \times 1,2 \times 2400 = 672,0768 \text{ kg}$

b) Pengangkatan Pelat Tipe A



**Gambar 4.6** Momen pengangkatan pelat arah i



**Gambar 4.7** Momen pengangkatan pelat arah j

Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta diatas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka  $LL = 200$  kg.

$$\text{Beban ultimate} = (1,2 \times 1,2 \times 672,07) + (1,2 \times 1,6 \times 200) \\ = 1351,791 \text{ kg}$$

Gaya angkat ( $T_u$ ) setiap tulangan

$$= \frac{1351,791}{4} = 337,9476 \text{ kg}$$

Sesuai PBI pasal 2.2.2, tegangan tarik izin baja

$$\sigma_{\text{tarikijin}} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{3900}{1,5} = 2600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 337,9476}{\pi \times 2600}} = 0,4 \text{ cm}$$

Maka dipasang tulangan angkat  $\varnothing 6$  mm

c) Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

$f_{\text{cr}}$  untuk beton 28 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{35} = 4,14 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,08 = 0,04 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Sixth Edition*, momen maksimum diperhitungkan

Berdasarkan gambar di atas:

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left( \frac{W_{\text{pekerja}}}{A_{\text{pelat}}} \right)$$

$$w = (0,08 \times 2400) + \left( \frac{200}{2,917 \times 1,2} \right) = 249,13 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} + M_x &= - M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 249,13 \times 1,2^2 \times 2,917 \\ &= 11,197 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + M_y &= - M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 249,13 \times 1,2 \times 2,917^2 \\ &= 27,218 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } ultimate &= (1,2 \times 1,2 \times 672,07) + (1,2 \times 1,6 \times 200) \\ &= 1351,791 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P = \frac{1351,791}{4} = 337,94 \text{ kg}$$

$$M_y = \left( \frac{P \times y_c}{tg \ 45} \right) = \left( \frac{337,94 \times 0,04}{tg \ 45} \right) = 8,34 \text{ kg.m}$$

$$M_{\text{tot}} = 27,218 + 8,34 = 35,563 \text{ kg.m} = 35563 \text{ kg.mm}$$

- My ditahan oleh penampang selebar  $a/2 = 120/2 = 60 \text{ cm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 60 \times 8^2 = 640 \text{ cm}^3 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{tot}}}{Z} = \frac{35563}{640000} = 0,055 \text{ MPa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

- Mx ditahan oleh penampang selebar 15t pelat pracetak =  
120 cm atau  $b/2 = 291,7/2 = 145,85 \text{ cm}$   
Ambil terkecil = 120 cm

$$M_x = \left( \frac{P \times yc}{tg 45} \right) = \left( \frac{337,94 \times 0,04}{tg 45} \right) = 8,34 \text{ kgm}$$

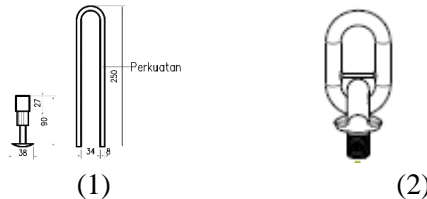
$$M_{tot} = 27,218 + 8,34 = 35,563 \text{ kg.m} = 35563 \text{ kg.mm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 120 \times 8^2 = 1280 \text{ cm}^3$$

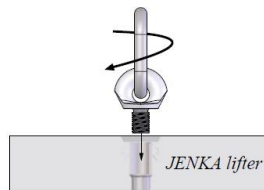
$$f_t = f_b = \frac{M_{tot}}{Z} = \frac{35563}{1280000} = 0,028 \text{ MPa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

⇒ Pemilihan Profil Tulangan Angkat

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.



**Gambar 4.8** (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



**Gambar 4.9** *JENKA Lifter*

### ➤ Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, dan sesudah

komposit). Untuk rekapitulasi penulangan pelat dapat dilihat pada **Tabel 4.3** sebagai berikut:

**Tabel 4.3** Penulangan terpasang pada pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang			Stud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi	Tulangan Over topping			
A	2.525	1.2	D10-240	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10
B	2.5	1.2	D10-200	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10
C	2.22	9.4	D10-240	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10
D	3.575	1.5	D10-150	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10

## 4.2.2 Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada di balok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

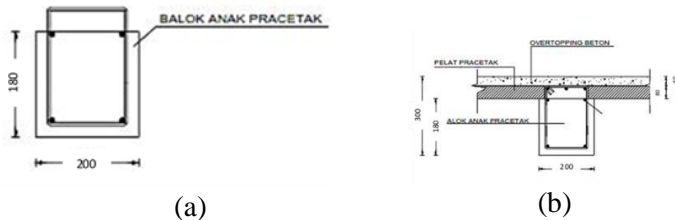
### 4.2.2.1 Dimensi Awal

Contoh perhitungan pada balok anak 1 yaitu BA1 35/50 dengan panjang 6 m:

- Dimensi balok anak : 35×50 cm
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 390 MPa
- Tulangan lentur : D16
- Tulangan sengkang : Ø10

Dalam perhitungan balok anak, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka terdapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.





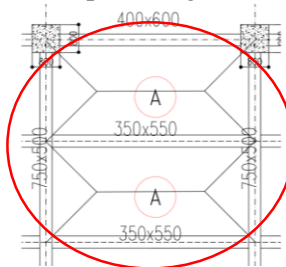
**Gambar 4.10** (a) Dimensi balok anak sebelum komposit, (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit

#### 4.2.2.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri balok anak tersebut dan semua beban merata pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan berat hidup merata di atasnya). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dianggap sebagai beban segitiga pada lajur pendek dan beban trapesium pada lajur yang panjang.

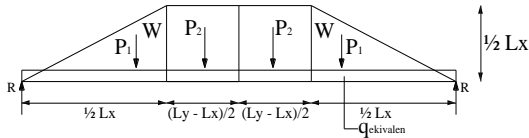
Beban-beban berbentuk trapesium maupun segitiga tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen dengan menyamakan momen maksimum akibat beban merata dengan momen maksimum akibat beban segitiga atau trapesium.

Beban ekuivalen yang tertera pada Gambar 4.12 tersebut di bawah ini digunakan sebagai beban merata pada balok anak maupun balok induk untuk perhitungan analisa struktur.



**Gambar 4.11** Distribusi Beban pada Balok Anak 35/50 Sebelum Komposit

### Beban ekuivalen trapesium



### Beban Trapesium

$$W = \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$P_1 = \frac{1}{8} \times q \times Lx^2$$

$$P_2 = \frac{1}{2} (Ly - Lx) \times \frac{1}{2} \times q \times Lx$$

$$R = P_1 + P_2$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (P_1 \times (\frac{1}{2} Ly - \frac{1}{3} Lx)) - (P_2 \times \frac{1}{4} (Ly - Lx))$$

$$M_{max} = (R \times \frac{1}{2} Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{2} P_2 \times Ly) - (\frac{1}{2} P_1 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) - (\frac{1}{4} \times P_2 \times Ly) + (\frac{1}{4} \times P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{4} P_2 \times Ly) + (\frac{1}{3} P_1 \times Lx) + (\frac{1}{4} P_2 \times Lx)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) + (\frac{1}{24} \times q \times Lx^3) + (\frac{1}{16} \times q \times Lx^2 \times Ly) - (\frac{1}{16} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = (\frac{1}{16} \times q \times Lx \times Ly^2) - (\frac{1}{48} \times q \times Lx^3)$$

$$M_{max} = \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2))$$

$$M_{eq} = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$M_{max} = M_{eq}$$

$$= \frac{1}{8} \times q \times Ly^2 ((\frac{1}{2} Lx) - (\frac{1}{6} \times Lx^3 / Ly^2)) = \frac{1}{8} \times q_{ek} \times Ly^2$$

$$q_{ek} = q \times \left( \left( \frac{1}{2} Lx \right) - \left( \frac{1}{6} \frac{Lx^3}{Ly^2} \right) \right) = \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right)$$

#### a. Pembebanan Sebelum Komposit :

$$Lx = 291,7 - (40/2 + 40/2) = 251,7 \text{ cm} = 2,517 \text{ m}$$

$$Ly = 600 - (50/2 + 50/2) = 550 \text{ cm} = 5,5 \text{ m}$$

#### ➤ Beban mati (Q<sub>DL</sub>)

$$\text{Berat sendiri balok anak} = 0,35 \times (0,5 - 0,14) \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 &= 302,4 \text{ kg/m} \\
 q \text{ pelat sebelum komposit} &= 0,08 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 192 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sebelum komposit}} &= \left( \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= \left( \frac{1}{2} \times 192 \times 2,517 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2,517}{5,5} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= 449,527 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

➤ Kombinasi beban

$Q_u$  sebelum komposit

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times (302,4 + 449,527) + 1,6 \times 0 = 902,312 \text{ kg/m}$$

b. Pembebanan Sesudah Komposit :

➤ Beban mati ( $Q_{DL}$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,35 \times 0,5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 420 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q \text{ pelat sesudah komposit} &= 0,14 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 336 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left( \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= \left( \frac{1}{2} \times 336 \times 2,517 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2,517}{5,5} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= 786,572 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

➤ Beban hidup ( $Q_{LL}$ )

$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sesudah komposit}} &= \left( \frac{1}{2} \times q \times Lx \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{Lx}{Ly} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= \left( \frac{1}{2} \times 200 \times 2,517 \left( 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{2,517}{5,5} \right)^2 \right) \right) \times 2 \\
 &= 468,25 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

➤ Kombinasi beban

$Q_u$  sesudah komposit

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times (336 + 786,572) + 1,6 \times 468,25 = 2197,219 \text{ kg/m}$$

#### 4.2.2.3 Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen-momen dan gaya melintang dari SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

##### Momen Sebelum Komposit

Asumsi balok berada di atas dua tumpuan sederhana (sendi-rol)

$$M_{\max} = 1/8 \times (902,312) \times 6^2 = 3411,87 \text{ kgm}$$

$$V = 1/2 \times (902,312) \times 6 = 2481,36 \text{ kg}$$

##### Momen Sesudah Komposit

$$M_{\text{tumpuan}} = -1/10 \times (2197,22) \times 6^2 = -6646,578 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{lapangan}} = 1/16 \times (2197,22) \times 6^2 = 4154,117 \text{ kgm}$$

$$V = 1/2 \times (1652,947) \times 6 = 6042,35 \text{ kg}$$

#### 4.2.2.4 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

Dimensi balok anak 35/50

Tebal selimut beton = 40 mm

D tulangan utama = 16 mm

D tulangan sengkang = 10 mm

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 35 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 390 Mpa

a. Perhitungan Tulangan Sebelum Komposit

$$d = 500 - 140 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(16) = 302 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$As_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{201,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 350} = 13,18$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{13,18}{0,8} = 16,47$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left( \frac{122}{16,47} - 1 \right) 0,003 = 0,0192$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat  $\phi = 0,9$

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,0277$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$\rho$  min dipilih yang terbesar, yaitu 0,00379

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

Tulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 34118695,4 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{34118695,4}{0,9 \times 350 \times 302^2} = 1,187 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,18}{390}} \right) = 0,0031$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0031 < \rho_{\text{min}} = 0,003792$  dipakai  $\rho_{\text{min}}$  sehingga didapatkan luas tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003792 \times 350 \times 302 = 400,852 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD16}} = \frac{400,852}{201,06} = 1,99 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D16} = 2 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\ &= 804,25 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

b. Perhitungan Tulangan Sesudah Komposit

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(16) = 442 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8 \quad \text{SNI 2847:2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$A_{s\text{ tulangan}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{201,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 350} = 13,18$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{13,18}{0,8} = 16,47$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left( \frac{122}{16,47} - 1 \right) 0,003 = 0,0192$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat  $\phi = 0,9$

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang terbesar, yaitu 0,00379

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,109$$

### Tulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 41541172 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{41541172}{0,9 \times 350 \times 442^2} = 0,675$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 0,675}{390}} \right) = 0,00175 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,00175 < \rho_{\min} = 0,003792$  dipakai  $\rho_{\min}$  sehingga didapatkan luas tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,002835 \times 446 = 586,67 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD16}} = \frac{586,67}{201,06} = 2,91 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D16} = 3 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\ &= 603,185 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D16

### Tulangan Tumpuan

$$M_{\text{tumpuan}} = 66465875,2 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{66465875,2}{0,9 \times 350 \times 442^2} = 1,08$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,109} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,109 \times 1,08}{390}} \right) = 0,0028$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0028 < \rho_{\text{min}} = 0,00379$  dipakai  $\rho_{\text{min}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00379 \times 350 \times 442 = 586,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD16}} = \frac{586,67}{201,06} = 2,91 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D16} = 3 \times 201,06 \text{ mm}^2 \\ &= 603,18 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D16

#### 4.2.2.5 Perhitungan Tulangan Geser

a. Perhitungan tulangan sebelum komposit

$$V_u = 24813,5967 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 350 \times 302 = 104221,6 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 104221,6 = 78166,2 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 78166,2 = 39083,1 \text{ N}$$

Karena  $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$  maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan Ø10 mm dengan mutu baja BJTP-390 ( $f_y = 390 \text{ MPa}$ )

$$V_{s \text{ min}} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{24813,59}{0,75} = 33084,79 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ Ø10} = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 390 \times 302}{33084,79} = 559,2 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua



ujung balok dengan panjang  $2h = 2 \times 360 = 720$  mm dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1.  $d/4 = 302/4 = 75,5$  mm
2.  $8 \times D_{tul \text{ longitudinal}} = 8 \times 16 = 128$  mm
3.  $24 \times \emptyset_{tul \text{ sengkang}} = 24 \times 10 = 240$  mm
4. 300 mm

Dari syarat, maka diambil sengkang di daerah plastis  $\emptyset 10$ -70 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 70 mm dari muka tumpuan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2 = 302/2 = 151 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis  $\emptyset 10$ -150 mm.

b. Perhitungan tulangan sesudah komposit

$$V_u = 60423,52 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 350 \times 442$$

$$= 1525362,57 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 1525362,57 = 1144021,93 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \times 1144021,93 = 572010,964 \text{ N}$$

Karena  $V_c > V_u > 0,5\phi V_c$  maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan  $\emptyset 10$  mm dengan mutu baja BJTP-390 ( $f_y = 390$  MPa)

$$V_{s \text{ min}} = \frac{V_u}{\phi} = \frac{60423,52}{0,75} = 80564,69 \text{ N}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \emptyset 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 390 \times 442}{80564,69} = 224 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang  $2h = 2 \times 500 = 1000 \text{ mm}$  dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1.  $d/4 = 442/4 = 110,5 \text{ mm}$
2.  $8 \times D_{\text{tul longitudinal}} = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$
3.  $24 \times \varnothing_{\text{tul sengkang}} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$
4.  $300 \text{ mm}$

Dari syarat, maka diambil sengkang di daerah plastis  $\varnothing 10-50 \text{ mm}$ . Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari  $100 \text{ mm}$  dari muka tumpuan.

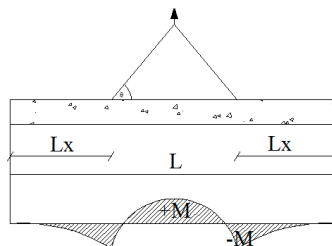
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

$$s \leq d/2 = 442/2 = 221 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis  $\varnothing 10-220 \text{ mm}$ .

#### 4.2.2.6 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak pracetak dibuat secara fabrikasi di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan saat pemasangan modular. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



**Gambar 4.12** Momen Saat Pengangkatan Balok Anak

Dimana :

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2} \text{ dan } +M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Yb} \left( 1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

**a. Kondisi sebelum komposit**

$$b = 35 \text{ cm}$$

$$h = 36 \text{ cm}$$

$$L = 600 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{(36 - 14)}{2} = 11 \text{ cm}$$

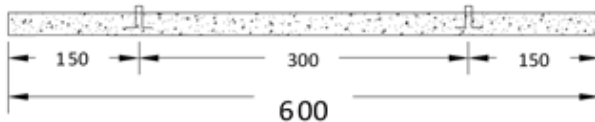
$$I = \frac{1}{12} \times 35 \times 36^3 = 136080 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 11 + 5 = 16 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 16}{600 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{11}{11} \left( 1 + \frac{4 \times 16}{600 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,225$$

$$X \times L = 0,225 \times 600 = 135,43 \text{ cm} = 150 \text{ cm}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 600 - 2 \times (150) = 300 \text{ cm}$$



**Gambar 4.13** Letak Titik Pengangkatan Balok

**a) Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,35 \times 0,36 \times 6 \times 2400) = 1108,8 \text{ kg}$$

$$T \sin \phi = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2} = \frac{1,2 \times 1,2 \times 1108,8}{2} = 798,336 \text{ kg}$$

$$T = \frac{746,496}{\sin 45^\circ} = 1596,672 \text{ kg}$$

**b) Tulangan angkat balok anak**

$$P_u = 1596,672 \text{ kg}$$

Menurut PBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang adalah  $f_y/1,5$ . Jika dipakai tulangan polos dengan mutu  $f_y = 390 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 3900/1,5 = 2600 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}} = \sqrt{\frac{1596,672}{2600 \times \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,442 \text{ cm}$$

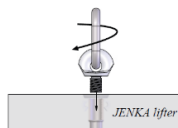
Digunakan Tulangan  $\phi 10 \text{ mm}$

$\Rightarrow$  Pemilihan Profil Tulangan Angkat

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut  $0^\circ$ - $90^\circ$ .



**Gambar 4.14** (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



**Gambar 4.15** *JENKA Lifter*

### c) Momen yang Terjadi

- Pembebanan

$$\text{Balok } (0,35 \times 0,36 \times 2400) = 302,4 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

- Momen lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right) \times 1,2$$

$$+M = \left( \frac{302,4 \times 6^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,225 + \frac{4 \times 0,16}{6 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 332,788 \text{ kgm}$$

### d) Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{332,788}{\frac{1}{6} \times 350 \times 360^2}$$

$$= 0,44 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f'c'} = 4,14 \text{ MPa (OK)}$$

- Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$-M = \left( \frac{302,4 \times 0,225^2 \times 6^2}{2} \right) \times 1,2 = 277,32 \text{ kgm}$$

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{277,32}{\frac{1}{6} \times 350 \times 360^2}$$

$$= 0,36 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f'c'} = 4,14 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen di atas, didapatkan nilai  $f'$  akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai  $f'_{r_{ijin}}$  usia beton 3

hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

#### 4.2.2.7 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:2013, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:


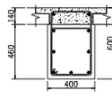
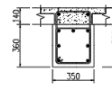
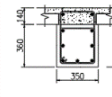
$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak *preliminary design* telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan  $h_{\min}$ .

#### ➤ Penulangan Balok Anak yang Terpasang

Penulangan balok anak yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, dan sesudah komposit). Untuk rekapitulasi penulangan balok anak dapat dilihat pada **Tabel 4.4** sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Penulangan terpasang pada balok anak

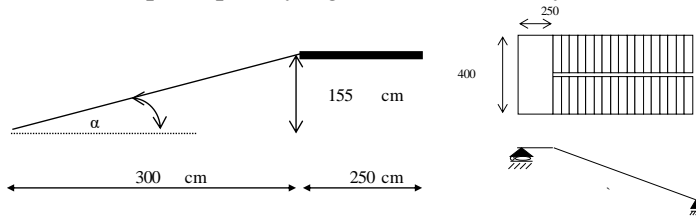
TABEL PENULANGAN BALOK ANAK				
KODE	BA.1		BA.2	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA				
KETERANGAN	-		-	
PENAMPANG BALOK	400 mm x 600 mm		350 mm x 500 mm	
DEKING	30 mm		30 mm	
ATAS	3 D16	2 D16	3 D16	2 D16
TENGAH	2 D16	3 D16	2 D16	3 D16
BAWAH	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
BEGEL	2D10 - 100	2D10 - 200	2D10 - 100	2D10 - 200

### 4.2.3 Perencanaan Tangga Pracetak

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai *frame* statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

#### 4.2.3.1 Dimensi Awal

Data-data perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 4.18** berikut dan point-point yang tertera di bawahnya :



**Gambar 4.16** Desain Tanga

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Tinggi antar lantai = 310 cm
- Panjang bordes = 400 cm
- Lebar bordes = 250 cm
- Lebar tangga = 180 cm
- Tebal pelat tangga ( $t_p$ ) = 14 cm
- Tebal pelat bordes = 14 cm
- Tinggi injakan ( $t$ ) = 15 cm
- Lebar injakan ( $i$ ) = 30 cm
- Jumlah injakan ( $n_i$ ) =  $\frac{Elev. \text{ bordes}}{t} = 11$  buah
- Jumlah tanjakan ( $n_T$ ) =  $n_i - 1 = 10$  buah
- Jumlah tanjakan ke bordes = 10 buah
- Jumlah tanjakan dari bordes ke lantai 2 = 10 buah
- Elevasi bordes = 155 cm
- Panjang horizontal plat tangga bordes =  $i \times \text{jumlah tanjakan}$   
=  $30 \times 10 = 300$  cm

- Kemiringan tangga ( $\alpha$ )

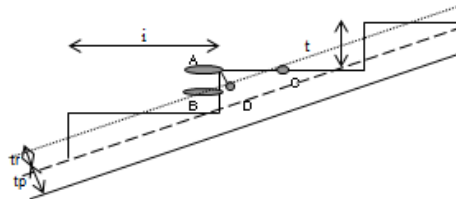
$$\text{arc tan } \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horisontal plat tangga}} = \frac{155}{300} = 0,516$$

Jadi,  $\alpha = 27,3^\circ$

Cek syarat :

- $60 \leq (2t + i) \leq 65$   
 $60 \leq (2 \times 15 + 30) \leq 65$   
 $60 \leq 60 \leq 65 \dots \dots \dots (\text{OK})$
- $25 \leq \alpha \leq 40$   
 $25 \leq 27,3^\circ \leq 40 \dots (\text{OK})$

- Tebal plat rata-rata anak tangga =  $(i/2) \sin \alpha$   
 $= (30/2) \sin 27,3^\circ$   
 $= 6,885 \text{ cm}$
- Tebal plat rata-rata =  $t_p + t_r = 14 + 6,885$   
 $= 20,885 \approx 21 \text{ cm}.$



**Gambar 4.17** Ketebalan Tangga

#### 4.2.3.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

##### A. Pembebanan Tangga

##### Beban Mati (DL)

$$\text{Pelat tangga} = \frac{0,21}{\cos 27,3^\circ} \times 2400 \times 1 \text{ m} = 567,3 \text{ kg/m}$$

$$\text{Tegel} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\text{Spesi} = 21 \text{ kg/m}$$

$$\text{Sandaran} = 50 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total (DL)} = 641,3 \text{ kg/m}$$

##### Beban Hidup (LL)

$$\text{LL} = 192 \text{ kg/m}$$



Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (643,1) + 1,6 (192) = 1076,754 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

**B. Pembebanan Pelat Bordes**Beban Mati (DL)

$$\begin{array}{lll} \text{Pelat bordes} &= 0,14 \times 2400 \times 1 \text{ m} &= 336 \text{ kg/m} \\ \text{Spesi} &= 2 \times 21 \times 1 \text{ m} &= 42 \text{ kg/m} \\ \text{Tegel} &= 24 \times 1 \text{ m} &= 24 \text{ kg/m} + \\ \text{Total (DL)} &&= 410 \text{ kg/m} \end{array}$$

Beban Hidup (LL)

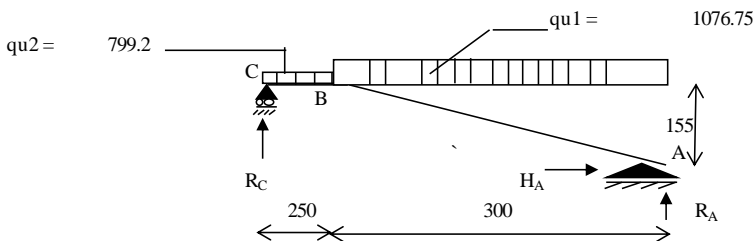
$$\text{LL} = 192 \text{ kg/m}$$

Kombinasi Beban :

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (410) + 1,6 (192) = 799,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

**4.2.3.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam**

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tertentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, di mana pembebanan tangga dan model seperti di bawah ini :



**Gambar 4.18** Sketsa beban pada tangga

$$\begin{aligned} \rightarrow \sum M_A &= 0 \\ (R_C \times 5,5) - (q_2 \times 2,5 \times 4,25) - (q_1 \times 3 \times (1,5)) &= 0 \\ (R_C \times 5,5) - 8491,5 - 4845,39 &= 0 \\ R_C &= 2424,89 \text{ kg} \end{aligned}$$

- $\sum V = 0$   
 $RA = (q_1 \times 3) + (q_2 \times 2,5) - RC$   
 $RA = 2803,37 \text{ kg}$
- $\sum H = 0$   
 $H_A = 0$
- Kontrol
- $\sum V_A = 0$   
 $R_A + R_C - (q_1 \times 2) - (q_2 \times 3) = 0$   
 $2803,37 + 2424,89 - (1076,75 \times 3) - (799,2 \times 2,5) = 0$   
 $0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$

Pelat Bordes C-B (2,5 m)

- a. Gaya Momen (M)  
 $M_{x_1} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$   
 $M_C = 0$   
 $M_{B \text{ kiri}} = R_C \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$   
 $M_{B \text{ kiri}} = 2424,89 \times 2,5 - \frac{1}{2} \times 799,2 \times 2,5^2 = 3564,725 \text{ kgm}$
- b. Gaya Lintang (D)  
 Titik C  $D_{C \text{ kanan}} = R_C = 2424,89 \text{ kg}$   
 Titik B  $D_{B \text{ kiri}} = R_C - (q_2 \times 2,5) = 426,89 \text{ kg}$
- c. Gaya Normal (N)  
 $N_{C-B} = 0 \text{ kg}$

Pelat A-B (3 m)

- a. Gaya Momen (M)  
 $M_{x_1} = R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$   
 Momen maksimum apabila :  
 $\frac{\sum M_{x_1}}{\sum X_1} = 0$   
 $R_A - q_1 \times x = 0$   
 $x = \frac{RA}{q_1} = \frac{2803,37}{1076,75} = 2,6 \text{ m} < 3 \text{ m}$   
 Momen maksimum terjadi di titik  $x = 2,6 \text{ m}$   
 $M_{\text{max}} = R_A \times x - \frac{1}{2} q_1 \times x^2$

$$= 2803,37 \times 2,6 - \frac{1}{2} \times 1076,75 \times 2,6^2$$

$$= 3649,34 \text{ kgm}$$

Titik A,  $M_A = 0 \text{ kgm}$

$$M_B = R_A \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

$$= 2803,37 \times 3 - \frac{1}{2} \times 1076,75 \times 3^2 = 3564,72 \text{ kgm}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$D_x = R_A \times \cos 27,3^\circ - (q_1 \cos 27,3^\circ \times x_1)$$

$$\text{Titik A } (X_1 = 0) ; D_A = R_A \times \cos 27,3^\circ = 1629,66 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B } (X_1 = 3 \text{ m}) ; D_B = 426,89 \text{ kg}$$

c. Gaya Normal (N)

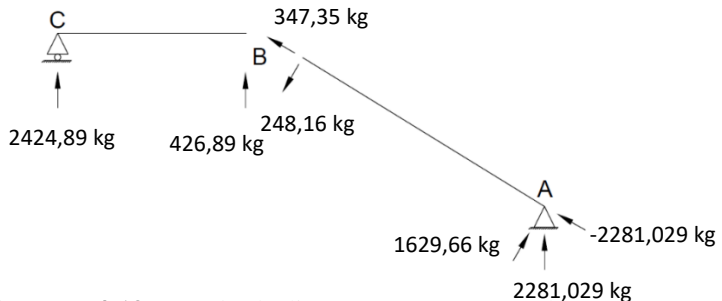
$$\text{Titik A} ; N_A = -R_A \sin 27,3^\circ = 2803,37 \times \sin 27,3^\circ$$

$$N_A = -2281,029 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B} ; N_B = -R_A \sin 27,3^\circ + q_1 \sin 27,3^\circ \times 3 \text{ m}$$

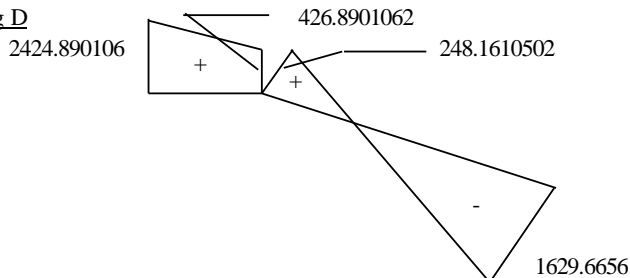
$$N_B = -2803,37 \sin 27,3^\circ + 1076,75 \sin 27,3^\circ \times 3$$

$$N_B = 347,35 \text{ kg}$$

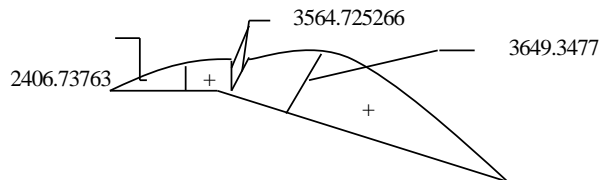


**Gambar 4.19** Free body diagram gaya-gaya pada tangga

Bidang D



**Gambar 4.20** Bidang lintang (D) pada tangga (dalam kg)

Bidang N**Gambar 4.21** Bidang normal (N) pada tangga (dalam kg)Bidang M**Gambar 4.22** Bidang momen (M) pada tangga (dalam kg)**4.2.3.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes****A. Perhitungan Penulangan Pelat Tangga**

Data – Data Perencanaan

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 35 MPaMutu baja ( $f_y$ ) = 390 Mpa

D tulangan lentur = 16 mm

Ø tulangan susut = 10 mm

Berat jenis beton = 3900 MPa

Tebal pelat tangga = 140 mm

Tebal pelat bordes = 140 mm

Tebal selimut beton = 20 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{132,71 \times 390}{0,85 \times 35 \times 1000} = 2,636 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,636}{0,8} = 3,29 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left( \frac{d}{3,29} - 1 \right) 0,003 = 0,15$$

Sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 didapat  $\phi = 0,9$

$\rho_{\min} = 0,0018$  sesuai SNI 2847:2013 pasal 10.5.1

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

$$d = 140 - 20 - (0,5 \times 16) = 112 \text{ mm}$$

### **Penulangan Pelat Tangga**

#### ➤ **Tulangan Utama**

$$M_{\max} = 3649,347 \text{ kg.m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{3649,347}{0,9 \times 1000 \times 112^2} = 32,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 32,32}{3900}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0088 > \rho_{\min}$$

Maka digunakan  $\rho = 0,0088$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,0088 \times 1000 \times 112 = 970,42 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S \text{ D16}}} = \frac{985,1}{201,062} = 4,9 \approx 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/5 = 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan lentur D16-200 mm ( $A_s = 1005,31 \text{ mm}^2$ )

### **Penulangan arah melintang pelat tangga (Susut)**

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan :

$\rho = 0,0018$  untuk  $f_y = 390 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{S_{\text{perlu}}} = 0,0018 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 99 = 178,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D10}}} = \frac{178,2}{78,54} = 2,3 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/3 = 333 \text{ mm}$$

$$\text{Dipasang tulangan D10-333 mm (} A_s = 398,19 \text{ mm}^2 \text{)}$$

### **Penulangan Pelat Bordes**

#### **Tulangan Utama**

$$M_{\text{max}} = 1598,4 \text{ kg.m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1598,4}{0,9 \times 1000 \times 113,5^2} = 13,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 13,7}{3900}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0036 > \rho_{\text{min}}$$

Maka digunakan  $\rho = 0,0036$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,0036 \times 1000 \times 113,5 = 410,97 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D13}}} = \frac{410,97}{132,73} = 3,2 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/4 = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan tulangan lentur D13-250 mm (} A_s = 530,93 \text{ mm}^2 \text{)}$$

### **Penulangan arah melintang pelat bordes**

Penulangan arah y dipasang tulangan susut dan suhu dengan :

$\rho = 0,0018$  untuk  $f_y = 390 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0018 \times b \times h$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 113,5 = 204,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ D10}}} = \frac{204,3}{78,54} = 2,6 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak tulangan (s)} = 1000/3 = 333 \text{ mm}$$

$$\text{Dipasang tulangan D10-333 mm (} A_s = 398,19 \text{ mm}^2 \text{)}$$

**B. Perhitungan Balok Bordes**

Perencanaan dimensi balok bordes

$$h = \frac{1}{16} \times L = \frac{1}{16} \times 400 = 18,75 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 18,75 = 12,5 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Dipakai dimensi balok bordes 20/30

**Pembebanan Balok Bordes**

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,2 \times 0,3 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding} &= 3 \times 250 &= 750 \text{ kg/m} + \\ q_d &= 894 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_d \text{ ultimate} &= 1,2 \times q_d = 1,2 \times 894 &= 1072,8 \text{ kg/m} \\ \text{beban pelat bordes} & &= 4941,97 \text{ kg/m} + \\ q_u &= 6014,77 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan} &= \frac{1}{24} \times q_u \times l^2 = \frac{1}{24} \times 6014,77 \times 3^2 \\ &= 2255,54 \text{ kgm} = 22555398 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan} &= \frac{1}{12} \times q_u \times l^2 = \frac{1}{12} \times 6014,77 \times 3^2 \\ &= 4511,08 \text{ kgm} = 45110795 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gaya geser balok bordes

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times l = 0,5 \times 6014,77 \times 3 = 9022,16 \text{ kg}$$

**Penulangan Lentur Balok Bordes (Utama)**

Direncanakan :

$$\text{Diameter sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga } d = 300 - 40 - 10 - 16/2 = 242 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(35 - 28)}{7} = 0,8 \geq 0,65$$

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{201,06 \times 390}{0,85 \times 35 \times 200} = 13,18$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{13,18}{0,8} = 16,47$$

$$\varepsilon_t = \left( \frac{d}{c} - 1 \right) 0,003 = \left( \frac{242}{16,47} - 1 \right) 0,003 = 0,0411$$

Sehingga, berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 9.3 didapat  $\phi = 0,9$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$\rho_{\min} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{1}{4} \times \frac{\sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$\rho$  min dipilih yang terbesar yaitu 0,00379

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

### **Penulangan Tumpuan**

M tumpuan = 22555398 Nmm

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{22555398}{0,9 \times 200 \times 242^2} = 2,14$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 2,14}{390}} \right) \\ &= 0,0057 > \rho_{\min} \end{aligned}$$



Maka digunakan  $\rho = 0,0057$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0057 \times 200 \times 242 = 275,84 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ D16}}} = \frac{275,84}{201,06} = 1,37 \approx \text{dipakai 2 buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D16} \\ &= 2 \times 201,106 \text{ mm}^2 \\ &= 402,2 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ..... OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

$$A_s' \text{ perlu} = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 402,2 \text{ mm}^2 = 155,95 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

### **Penulangan Lapangan**

$$M \text{ lapangan} = 45110795 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{45110795}{0,9 \times 200 \times 242^2} = 4,28$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,28}{390}} \right)$$

$$= 0,0119 > \rho_{\min}$$

Maka digunakan  $\rho = 0,0119$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0119 \times 200 \times 242 = 576,01 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s \text{ D16}}} = \frac{576,01}{201,06} = 2,86 \approx \text{dipakai 3 buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan tiap meter} \times A_{D16} \\ &= 3 \times 201,106 \text{ mm}^2 \\ &= 603,19 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ..... OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D16

$$A_s' \text{ perlu} = 0,5 \times A_s = 0,5 \times 576,01 \text{ mm}^2 = 288,01 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D16

### **Penulangan Geser Balok Bordes**

#### **Penulangan Tumpuan**

$$V_u \text{ total} = 90221,6 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 200 \times 242 = 47723,044 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 47723,044 = 35792,283 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 35792,283 = 17896,141 \text{ N}$$

$$V_s \text{ min} = \frac{1}{3} \times 200 \times 242 = 88365,906 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5 : Bila  $V_u$  kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\phi V_c$ , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena  $0,5\phi V_c < V_u < \phi V_c$  maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min} = 72572,41 \text{ N}$$

$$\text{Diameter tulangan geser} = 10 \text{ mm}$$

$$A_v = 2 \times A_s$$

$$A_s \text{ } \phi 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \times 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S_{\text{maks}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{157,08 \times 240 \times 242}{88365,906} = 103 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 bahwa sengkang harus disediakan di sepanjang sendi plastis pada kedua ujung balok dengan panjang  $2h = 2 \times 300 = 600 \text{ mm}$  dengan jarak sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1.  $d/4 = 242/4 = 60,5 \text{ mm}$
2.  $8 \times D_{\text{tul longitudinal}} = 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$
3.  $24 \times \phi_{\text{tul sengkang}} = 24 \times 10 = 240 \text{ mm}$
4.  $300 \text{ mm}$

Dari syarat, maka diambil sengkang di daerah plastis Ø10-50 mm. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.3 bahwa jarak sengkang di luar sendi plastis di sepanjang balok tidak lebih dari:

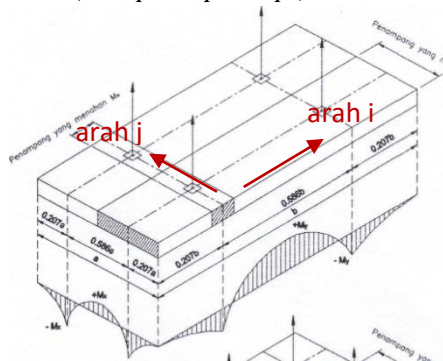
$$s \leq d/2 = 242/2 = 121 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis D10-100 mm.

#### 4.2.3.5 Pengangkatan Tangga

⇒ Titik Angkat Tangga Pracetak

Dalam pemasangan tangga pracetak, tangga akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan tangga berikut dengan dimensi 1,8 m x 5,5 m yang tertera pada Gambar 4.19 dengan dua titik pengangkatan ( *two point pick up* ).



**Gambar 4.23** Jarak Tulangan Angkat  
(*PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992*)

Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j. Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 90 cm. Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut (  $k = 1,2$  ) pada saat pengangkatan.

⇒ Perhitungan Tulangan Angkat Pelat

$$DL = 0,22 \times 1,8 \times 5,5 \times 2400 = 5227,2 \text{ kg}$$

Momen akibat pengangkatan yang terjadi pada pelat :

$$\text{Beban ultimate} = 1,2 \times 1,4 \times 5227,2 = 8781,7 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya angkat (Tu) setiap tulangan} = \frac{8781,7}{2} = 4390,8 \text{ kg}$$

Sesuai PBBBI pasal 2.2.2, tegangan tarik ijin baja

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{3900}{1,5} = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 4390,8}{\pi \times 2800}} = 1,41 \text{ cm}$$

$$\varphi = \text{arcTg} \frac{0,9}{0,9} = 45^\circ$$

$$Tu' = Tu \times \cos \alpha = 4390,8 \times \cos 45^\circ = 2306,6 \text{ kg}$$

$$\alpha_i = \text{arctg} \frac{0,9}{0,9} = 45^\circ \quad \alpha_j = \text{arctg} \frac{0,9}{1,9} = 17,23^\circ$$

Faktor gaya horizontal :

$$\begin{aligned} Ti &= 1631,01 \times \cos \alpha_i = 1631,01 \times \cos 45^\circ \\ &= 1631,01 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Tj &= 1631,01 \times \cos \alpha_j = 1631,01 \times \cos 17,23^\circ \\ &= 3312,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ambil terbesar → P = 3312,4 kg

Maka diameter tulangan angkat arah i dan arah j =

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{4 \times 3312,4}{\pi \times 2800}} \geq 1,228 \text{ cm}$$

Maka dipasang tulangan angkat Ø13 mm

⇒ Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{cr}$$

$f_{cr}$  untuk beton 3 hari adalah

$$f_r = \frac{0,7 \times \sqrt{f_c'}}{SF} = \frac{0,7 \times \sqrt{35}}{1,5} = 2,95 \text{ MPa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,14 = 0,07 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992* momen maksimum diperhitungkan. Berdasarkan gambar diatas, arah i sama dengan arah y dan arah j sama dengan arah x.

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left( \frac{200}{a \times b} \right)$$

$$w = (0,14 \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left( \frac{200}{1,8 \times 5,5} \right) = 548,2 \text{ kg/m}^2$$

$$+ M_x = - M_x = M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$= 0,0107 \times 548,2 \times 1,8^2 \times 5,5 = 104,52 \text{ kgm}$$

$$+ M_y = - M_y = M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

$$= 0,0107 \times 552,3 \times 1,8 \times 5,5^2 = 319,39 \text{ kgm}$$

$$P = \left( \frac{8781,69}{4} \right) = 2195,424 \text{ kg}$$

➤ My ditahan oleh penampang selebar  $a/2 = 180/2 = 90 \text{ cm}$

$$M_y = \left( \frac{p \times y_c}{tg 45} \right) = \left( \frac{2195,424 \times 0,07}{tg 45} \right) = 153,67 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{tot}} = 319,39 + 153,67 = 473,07 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 90 \times 14^2 = 2940 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{tot}}}{Z} = \frac{4730,7}{2940}$$

$$= 1,6 \text{ Mpa} < f_r = 2,95 \text{ Mpa} \dots \text{OK}$$

- Mx ditahan oleh penampang selebar  $15t = 210 \text{ cm}$  atau  $b/2 = 275 \text{ cm}$  (diambil yang terkecil =  $210 \text{ cm}$ )

$$M_x = \left( \frac{P \times y_c}{t_g 45} \right) = \left( \frac{2195,424 \times 0,07}{t_g 45} \right) = 153,68 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{tot}} = 014,52 + 153,68 = 258,2 \text{ kgm}$$

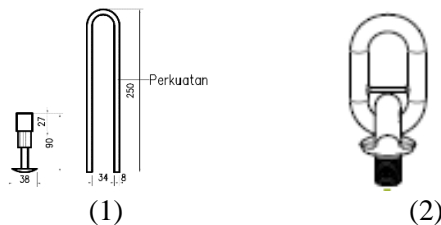
$$Z = \frac{1}{6} \times 210 \times 14^2 = 6860 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{tot}}}{Z} = \frac{22582}{6860}$$

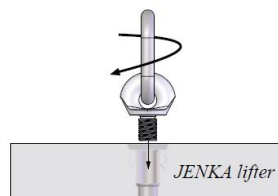
$$= 0,376 \text{ Mpa} < f_r = 2,95 \text{ Mpa} \dots \text{OK}$$

⇒ Pemilihan Profil Tulangan Angkat

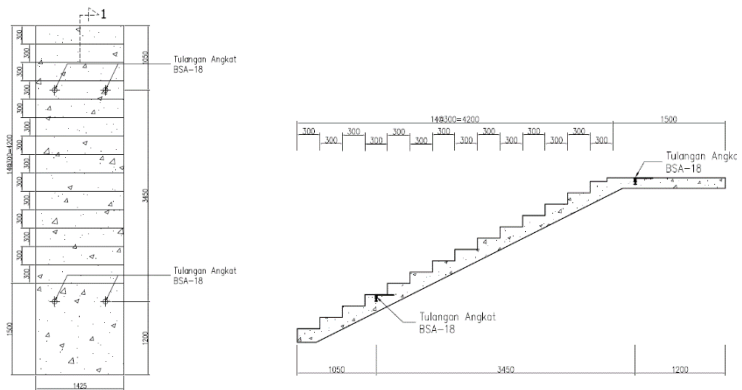
Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar  $16 \text{ kN}$  dengan sudut  $0^\circ$ - $90^\circ$ .



**Gambar 4.24** (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



**Gambar 4.25** *JENKA Lifter*



**Gambar 4.26** Titik Angkat Tangga Pracetak

## 4.2.4 Perencanaan Balok Lift

### 4.2.4.1 Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh Asia Schneider (Thailand) Co.,Ltd dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift : C300 Passenger Elevator

Kapasitas : 1000 Kg

Kecepatan : 1.75 m/s

Motor : 18.5 KW

Lebar pintu (*opening width*) : 800 mm

Dimensi sangkar (*car size*)

- *Car wide* (CW) = 1600 mm

- *Car depth* (CD) = 1400 mm :

Dimensi ruang luncur (*hoistway size*) Duplex

- *Hoistway width* (HW) = 2100 mm

- *Hoistway depth* (HD) = 2000 mm

Beban reaksi ruang mesin

•  $R_1$  = 5800 kg

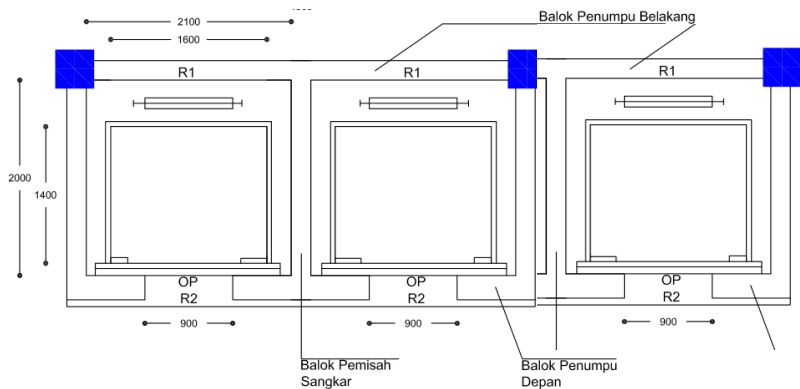
•  $R_2$  = 4600 kg

Penjelasan mengenai spesifikasi lift yang dipakai disajikan dalam **Tabel 4.5:**

**Tabel 4.5 Spesifikasi C300 Passenger Elevator***Sumber : Asia Schneider (Thailand) Co.,Ltd.***C300 Passenger Elevator Technical Specification (For wide car)**

Type	Capacity kg	Speed m/s	Motor kW	Car size mm			Hoistway size mm				Max.stops #	Max. rises #	Reaction force kN			
				CM	CD	OP	HW	HD	PD	OH			R1	R2	R3	R4
P0630W10S-CO P0630W16S-CO P0630W17S-CO	630	1.00 1.50 1.75	7.5 11 15	1400	1100	800	1850	1700	1300 1400 1500	4400 4500 4600	14 20 24	40 60 75	74	60	46	33
P0800W10S-CO P0800W16S-CO P0800W17S-CO	800	1.00 1.50 1.75	11 15 15	1400	1350	800	1850	1950	1300 1400 1500	4400 4500 4600	14 20 24	40 60 75	82	66	52	38
P1000W10S-CO P1000W16S-CO P1000W17S-CO	1000	1.00 1.50 1.75	11 18.5 18.5	1600	1400	900	2100	2000	1300 1400 1500	4400 4500 4600	14 20 24	40 60 75	101	81	58	46

Notice: Above dimension is only for conference, if you need trim size. Please contact us.

**Gambar 4.27 Denah Ruang Lift****4.2.4.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift****a. Balok Penumpu Depan dan Belakang**

Panjang balok penumpu = 800 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 800 \text{ cm} = 50 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 50 \times \left(4 + \frac{fy}{700}\right) = 47,86 \text{ cm digunakan } h = 60 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 47,86 = 31,9 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok penumpu 40/60 cm.



**b. Balok Penggantung Lift**

Panjang balok penggantung lift = 400 cm

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times 400 \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 25 \times \left(4 + \frac{fy}{700}\right) = 23,93 \text{ cm digunakan } h = 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 23,93 = 15,95 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Dirancang dimensi balok penggantung 30/40 cm

**4.2.4.3 Pembebanan Lift**

1. Beban yang bekerja pada balok penumpang

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlengkapan.

2. Koefisien kejutan beban hidup oleh keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejutan yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana:

$\Psi$  = koefisien kejutan yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

$v$  = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

- $k_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6
- $k_2$  = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3.

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$P = \sum R \times \Psi = (5800 + 4600) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ = 18512 \text{ kg}$$

#### 4.2.4.4 Balok Penggantung Lift 30/40

##### a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 + \\ = 346 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 346 \times 2,3 \text{ m} = 795,8 \text{ kg/m}$$

Akibat balok penggantung :

$$= 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m} +$$

$$Q_d = 1083,8 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup ( $q_1$ ) :

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_L$$

$$= 1,2 \times 1083,8 + 1,6 \times 100 = 1460,56 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift  $P = 18512 \text{ kg}$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \times 1460,56 \times 4 + \frac{1}{2} \times 18512$$

$$= 12177,12 \text{ kg}$$

$$M_u = \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} PL = \frac{1}{8} \times 1460,56 \times 4^2 + \frac{1}{4} \times 18512 \times 4$$

$$= 21433,12 \text{ kgm}$$

**Data Perencanaan :**

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D16 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \emptyset 10 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 = 334,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,037 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \quad \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,00379

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

**b. Perhitungan Tulangan Lentur**

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d} = \frac{214331200}{0,9 \times 300 \times 334,5} = 7,09$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 7,09}{390}} \right) = 0,037$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,021 > \rho_{\text{min}} = 0,00379$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,021 \times 300 \times 334,5 = 2107,35 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s \text{ D16}} = \frac{2107,35}{380,1} = 5 \approx \text{dipakai 5 buah}$$

Maka dipasang tulangan 5 D16 (3926,99 mm<sup>2</sup>)

### c. Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 12177,12 \text{ kg} = 121771,2 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 300 \times 334,5$$

$$= 98946,4 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 98946,4$$

$$= 74209,8 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847:2013: Bila  $V_u$  lebih dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\square V_c$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_{s\text{perlu}} = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$V_{s\text{perlu}} = (121771,2 - 74209,8) / 0,75 = 63415 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser = 10 mm

$$A_v = \frac{V_{s\text{perlu}}}{f_y \times d} = \frac{63415 \times 1000}{390 \times 339} = 479,65 \text{ N}$$

$$A_v = \frac{75 \times \sqrt{f'_c} \times b \times s}{1200 \times f_y} = \frac{75 \times \sqrt{35} \times 300 \times 1000}{1200 \times 390} = 284,427 \text{ N}$$

$$A_v = \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{300 \times 1000}{3 \times 390} = 256,41 \text{ N}$$

Diambil nilai  $A_v$  terbesar,  $A_v = 479,65 \text{ N}$

Karena  $V_s < \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c} \times b \times d$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S = \frac{n \times 0,25 \times \pi \times dp^2 \times S}{A_v}$$

$$= \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{479,65} = 327 \text{ mm}$$

Syarat  $s_{\max} < d/2 = 334,5/2 = 167,25 \text{ mm}$  dan  $s_{\max} < 600 \text{ mm}$

Dipasang tulangan geser Ø10 – 150 mm.

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur 5D16.
- Tulangan geser D10 – 150 mm.

#### 4.2.4.5 Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 40/60

##### a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 +$$

$$= 346 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 346 \times 4/2 \text{ m} = 692 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,4 \times 0,6 \times 2400 = 576 \text{ kg/m} +$$

$$Q_d = 1268 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup ( $q_1$ ) :

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_L$$

$$= 1,2 \times 1268 + 1,6 \times 100$$

$$= 1681,6 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat balok

$$P = \sum R \times \Psi = (10200) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) = 18156 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} q_u L + \frac{1}{2} p \\ &= \frac{1}{2} \times 1681 \times 8 + \frac{1}{2} \times 18156 \\ &= 15804 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} q_u L^2 + \frac{1}{4} pL \\ &= \frac{1}{8} \times 1681 \times 8^2 + \frac{1}{4} \times 18156 \times 8 \\ &= 49764 \text{ kgm} \end{aligned}$$

**Data Perencanaan :**

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D25 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \emptyset 13 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 = 534,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,8$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,8 \times 35 \left( \frac{600}{600 + 390} \right)}{390} = 0,037 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{35}}{390} = 0,00379$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,00379

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,11$$

**b. Perhitungan Tulangan Lentur**

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d} = \frac{497648000}{0,9 \times 400 \times 534,5} = 6,45$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{13,11} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 6,45}{390}} \right)$$

$$= 0,0189$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0189 > \rho_{\min} = 0,00379$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0189 \times 400 \times 534 = 3027,16 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 7.6.5 adalah :

$$n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\phi 25}}} = \frac{3027,16}{490,87} = 6 \text{ buah}$$

Maka dipasang tulangan 6 D25 (3135,5 mm<sup>2</sup>)

**c. Perhitungan Tulangan Geser**

$$V_u = 15804,4 \text{ kg} = 158044 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d = \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 400 \times 534 = 210810 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 210810 = 158107 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847:2013: Bila  $V_u$  lebih dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\phi V_c$ , maka diperlukan tulangan geser.

$$V_{s \text{ perlu}} = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$V_{s \text{ perlu}} = (174988,42 - 74209,8) / 0,75 = 144108 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser = 13 mm

$$A_v = \frac{V_{s \times S}}{f_y \times d} = \frac{133040 \times 1000}{390 \times 339} = 1104,66 \text{ N}$$

$$A_v = \frac{75 \times \sqrt{f'_c} \times b \times S}{1200 \times f_y} = \frac{75 \times \sqrt{35} \times 300 \times 1000}{1200 \times 390} = 284,427 \text{ N}$$

$$A_v = \frac{b \times S}{3 \times f_y} = \frac{300 \times 1000}{3 \times 390} = 256,41 \text{ N}$$

Diambil nilai  $A_v$  terbesar,  $A_v = 1104,66 \text{ N}$

$$\text{Karena } V_s < \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

Perhitungan jarak sengkang, di mana:

$$S = \frac{n \times 0,25 \times \pi \times d_p^2 \times S}{A_v}$$

$$= \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{1104,66} = 240 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat } S_{\max} < d/2 = \frac{334,5}{2} = 167 \text{ mm dan } S_{\max} < 600 \text{ mm}$$

Dipasang tulangan geser Ø10 – 150 mm

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut :

- Tulangan lentur 6D25
- Tulangan geser D13 – 150 mm



### 4.3 Permodelan Struktur

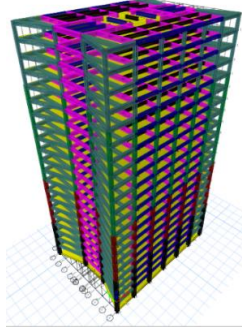
#### 4.3.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 2847:2013 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2012 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

##### 4.3.1.1 Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoo Bekasi adalah sebagai berikut :

Mutu beton ( $f_c'$ )	:	
a) Kolom	:	35 MPa
b) Balok & Pelat	:	35 MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	:	390 MPa
Fungsi bangunan	:	Gedung apartemen & <i>retail</i>
Tinggi bangunan	:	66 m
Jumlah tingkat	:	20 lantai dan 1 <i>basement</i>
Tinggi tiap tingkat	:	a) Lantai <i>basement</i> = 4,00 m
		b) Lantai dasar s.d. 20 = 3,10 m
Dimensi balok induk	:	50/75, 40/60, dan 50/70
Dimensi balok anak	:	35/50 dan 40/60
Zona gempa	:	Sedang



**Gambar 4.28** Permodelan 3D Struktur Utama (properties view)

### 4.3.2 Pembebanan Gravitasi

Pembebanan Gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang bekerja pada gedung. Beban mati dan hidup yang dipehitungkan berupa:

- Beban Mati (PPIUG 1983)
  - Berat sendiri beton bertulang : 24 KN/m<sup>3</sup>
  - Berat sendiri betonprategang : 25 KN/m<sup>3</sup>
  - Adukan finishing : 0,21 KN/m<sup>3</sup>
  - Tegel : 0,24 KN/m<sup>3</sup>
  - Dinding setengah bata : 0,25 KN/m<sup>3</sup>
  - Plafond : 0,11 KN/m<sup>3</sup>
  - Penggantung : 0,07 KN/m<sup>3</sup>
  - Plumbing +ducting : 0,25 KN/m
- Beban Hidup (SNI 1727 : 2013)
  - Lantai Atap : 0,92 KN/m<sup>3</sup>
  - Lantai Apartement : 1,92 KN/m<sup>3</sup>
  - Lantai Parkir : 1,92 KN/m<sup>3</sup>

### 4.3.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanya beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktivitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1727:2013 bangunan tahan gempa sebagai berikut :

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
- 1,0DL+1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0 Ey

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

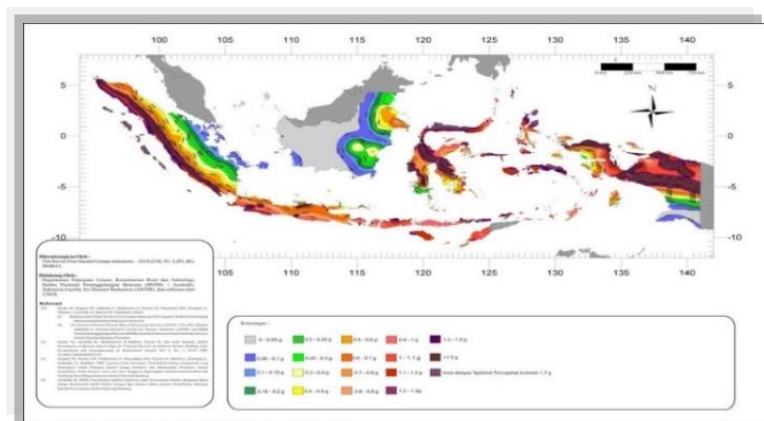
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

#### 4.3.4 Analisa Beban Gempa

##### 4.3.4.1 Percepatan Respon Spektrum (MCE)

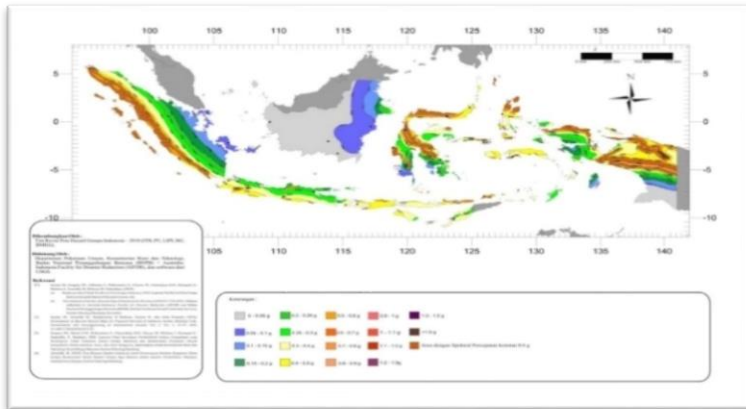
Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30.



**Gambar 4.29** Peta untuk penentuan harga Ss

Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian(MCER). Parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g, (5% redaman kritis), tanah

sedang. Dari gambar 4.22 untuk daerah Bekasi didapatkan nilai  $S_s = 0,677$  g.



**Gambar 4.30** Peta untuk penentuan harga  $S_1$

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), tanah sedang. Dari gambar 4.23 untuk wilayah Bekasi  $S_1 = 0,295$  g.

Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata sesuai SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 didapat perhitungan:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{2 \times 10}{\left(\frac{2}{13} + \frac{2}{26} + \frac{2}{53} + \frac{2}{54} + \frac{2}{50} + \frac{2}{43} + \frac{2}{50} + \frac{2}{50} + \frac{2}{50} + \frac{2}{50}\right)} = 30,25$$

Dengan nilai  $N = 30,25$  didapat klasifikasi situs tanah sedang (SD).

Untuk nilai  $F_a$  (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan  $F_v$  (koefisien situs untuk periode 1 detik) yang didapat dari **Tabel 4.5 dan 4.6**.

**Tabel 4.6** Koefisien Situs Fa

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ Terpetakan Pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

**Tabel 4.7** Koefisien Situs Fv

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ Terpetakan Pada Periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

Dari data di atas diperoleh data-data sebagai berikut :

$$S_s = 0,677$$

$$S_1 = 0,295$$

$$F_a = 1,258 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$F_v = 1,81 \text{ (Dengan cara interpolasi)}$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (\text{SNI 1726:2012 Pers. 6.2-1})$$

$$= 1,258 \times 0,677 = 0,852$$

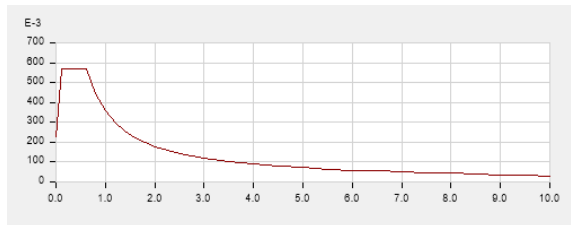
$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (\text{SNI 1726:2012 Pers. 6.2-2})$$

$$= 1,81 \times 0,295 = 0,534$$

#### 4.3.4.2 Parameter Percepatan Respon Spektral

$$SDS = (2/3) \times F_a \times S_s = 0,568 \text{ (SNI 1726:2012 Pers. 6.2-3)}$$

$$SD1 = (2/3) \times F_v \times S_1 = 0,356 \text{ (SNI 1726:2012 Pers. 6.2-4)}$$



**Gambar 4.31** Grafik Respon Spektrum Daerah Tinjauan Bekasi

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah Kota Bekasi yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen sebesar  $S_{DS} = 0,568$  dan parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek yang sudah diesuaikan terhadap pengaruh situs  $S_{D1} = 0,356$ . Berdasarkan Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 maka didapat kategori Kota Bekasi mempunyai kategori risiko D.

**Tabel 4.8** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 4.9** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI

1726:2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang biasa yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

#### **4.3.5 Pembebanan Gempa Dinamis**

Perhitungan beban gempa pada struktur Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:2012. Analisis dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang telah ditentukan.

##### **4.3.5.1 Arah Pembebanan**

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah  $x$  dan  $y$  secara bolak-balik dan periodik. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X:  
100% efektivitas untuk arah  $X$  dan 30% efektivitas arah  $Y$
- Gempa Respon Spektrum  $Y$ :  
100% efektivitas untuk arah  $Y$  dan 30% efektifitas arah  $X$

##### **4.3.5.2 Faktor Reduksi Gempa ( $R$ )**

Gedung ini direncanakan menggunakan beton pracetak dengan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:2012 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) = 4,5; nilai koefisien modifikasi respon ( $R$ ) = 7; dan nilai faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) = 2,5.

#### 4.3.5.3 Faktor Keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan apartemen. Pada Tabel 4.10 berdasarkan pada SNI 1726:2012 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai  $I = 1$ .

**Tabel 4.10** Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

#### 4.3.1 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu ETBAS 16, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut :

- Kontrol beban gravitasi
- Kontrol periode getar struktur
- Kontrol gaya geser dasar
- Kontrol respons seismik
- Kontrol partisipasi massa
- Kontrol batas simpangan (*drift*)
- Kontrol sistem ganda

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

#### 4.3.5.4 Beban Gravitasi

Beban gravitasi dikontrol untuk mengecek kesesuaian permodelan pada program bantu ETABS 16 dengan desain



bangunan gedung. Dari analisa yang telah dilakukan berikut adalah rekap pembebanan Gravitasi pada gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi :

**Tabel 4.11** 1Rekap Pembebanan Gravitasi

REKAP PEMBEBANAN		
LANTAI	BEBAN MATI	BEBAN HIDUP
	KN	KN
BASEMENT	8321.21016	2441.54088
LT 1 – 4	32068.32864	9766.16352
LT 5 – 9	31086.24864	9766.16352
LT 10 - 17	32592.10464	9766.16352
LT 18 - 20	30235.11264	1718.12136
TOTAL	199524.533	

Dari perhitungan secara manual didapatkan beban total (1D +1L) adalah 199524.533 KN. Pembebanan yang diinputkan pada ETABS 16 haruslah mendekati yang telah di hitung secara manual sehingga pembebanan pada ETABS 16 dapat dikatakan benar. Berikut adalah pembebanan gravitasi yang didapatkan dari ETABS 16.

**Tabel 4.12** Pembebanan Gravitasi pada ETABS

Load Case / Combo	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
1D + 1L	0	0	192124.8

Jadi total beban gravitasi pada ETABS 16 (1D+1L) sebesar 192124,8 KN. Sehingga didapatkan data sebagai berikut:

$W_{\text{total ETABS}} = 199524.533 \text{ KN}$

$W_{\text{total Manual}} = 192124,8 \text{ KN}$

Selisih perhitungan manual dengan ETABS = **3,1%**

Jadi dapat dikatakan bahwa pembebanan gravitasi pada ETABS 16 sudah **benar**.

#### 4.3.5.5 Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ )

$$T_a = C_t h_n^x$$

Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 4.12 dan 4.13 berdasarkan SNI 1726:2012.

**Tabel 4.13** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

**Tabel 4.14** Koefisien untuk Batas Atas

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq$	1,7

$$T_x = 0,0466 (62 \text{ m})^{0,9} = 1,91 \text{ s}$$

$$T_y = 0,0466 (62 \text{ m})^{0,9} = 1,91 \text{ s}$$

Dengan  $S_{D1} = 0,197$  maka didapatkan koefisien  $C_u = 1,4$  (cara interpolasi)

$$T = T_a \times C_u = 1,91 \times 1,4 = 2,67 \text{ s}$$

**Tabel 4.15** Modal Periode dan Frekuensi Struktur

Case	Mode	Period	Frequency	Circular Frequency	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Modal	1	2.227	0.449	2.8212	7.9591
Modal	2	2.153	0.464	2.9184	8.5169
Modal	3	2.15	0.465	2.923	8.5437
Modal	4	0.743	1.345	8.4518	71.4331
Modal	5	0.706	1.416	8.8944	79.1111
Modal	6	0.702	1.424	8.9471	80.0512
Modal	7	0.439	2.278	14.3159	204.9456
Modal	8	0.387	2.587	16.2521	264.1319
Modal	9	0.37	2.7	16.9656	287.8325
Modal	10	0.302	3.314	20.824	433.6379
Modal	11	0.254	3.941	24.7591	613.014
Modal	12	0.23	4.355	27.3605	748.5987

Dari Tabel 4.13, T terbesar yang didapat dari analisa ETABS 16 = 3,524 s, maka:

$$2,227 < T_a.Cu$$

$$2,227 < 2,67 \text{ (OK)}$$

#### 4.3.5.6 Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_0}\right)} ; S_{DS} = 0,451 ; I_0 = 1 ; R = 7$$

$$C_s = \frac{0,451}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,064$$

Nilai R yang dipakai yaitu R untuk sistem ganda dengan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser Beton Bertulang Khusus = 7. (SNI 1726:2012 Tabel 9).

Dan nilai  $C_s$  tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_0}\right)} ; S_{D1} = 0,197 ; I_0 = 1 ; R = 7 ; T = 2,27 \text{ dt}$$

$$C_s = \frac{0,356}{2,227 \cdot \left(\frac{2}{1}\right)} = 0,0123$$

Dan nilai  $C_s$  tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e$$

$$C_s = 0,044 \times 0,451 \times 1$$

$$C_s = 0,0198$$

Maka nilai  $C_s$  diambil **0,0198**.

Untuk perhitungan gempa faktor reduksi beban hidup untuk bangunan apartemen sebesar 0,3, sehingga didapatkan berat seismic efektif bangunan ( $W$ ) sebagai berikut

**Tabel 4.16** Berat Efektif Struktur

Load Case / Combo	FX	FY	FZ
	kN	kN	kN
1D+0,3L	0	0	171321,3

Gaya geser yang telah didapatkan dari perhitungan di atas akan didistribusikan secara vertikal ke masing-masing lantai sesuai dengan SNI 1726:2012.

$$C_s = 0,0198$$

$$W = 171321,3 \text{ KN}$$

$$V_{statik} = C_s \times W$$

$$V_s = 0,0198 \times 171321,3 \text{ KN}$$

$$V_s = 3912,39 \text{ KN}$$

Jika kombinasi respons untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0,85V/V_t$  (SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1). Dari hasil analisa struktur menggunakan program bantu ETABS 16 didapatkan gaya geser dasar ragam ( $V_t$ ) sebagai berikut :

**Tabel 4.17** Reaksi Beban Gempa Arah X dan Y

Load Case / Combo	FX	FY
	kN	kN
GEMPA X Max	3361.49	1037.292
GEMPA Y Max	1008.447	3457.641

$$V = 3912,39 \text{ KN}$$

$$V_{xt} = 3361,49 \text{ KN}$$

$$V_{yt} = 3457,64 \text{ KN}$$

Maka untuk arah x,

$$V_{xt} > 0,85V$$

$$3361,49 \text{ KN} > 0,85 \times 3912,39 \text{ KN}$$

$$3361,49 \text{ KN} > 3325,54 \text{ KN} \dots \text{"OK"}$$

Maka untuk arah y,

$$V_{yt} > 0,85V$$

$$3457,64 \text{ KN} > 0,85 \times 3912,39 \text{ KN}$$

$$3457,64 \text{ KN} > 3325,54 \text{ KN} \dots \text{"OK"}$$

Ternyata hasil dari running ETABS 16 tersebut sudah memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1. Selanjutnya geser dasar ragam hasil running tersebut akan digunakan sebagai beban gempa desain.

#### 4.3.5.7 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726 2012 pasal 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah. Dalam hal ini digunakan bantuan program ETABS 16 2016 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.17 berikut :

**Tabel 4.18** Rasio Partisipasi Massa

Case	Mode	Period	Sum UX	Sum UY
		sec		
Modal	1	2.227	0.7258	0
Modal	2	2.153	0.7258	0.0001
Modal	3	2.15	0.7258	0.7483
Modal	4	0.743	0.7258	0.7483
Modal	5	0.706	0.851	0.7483
Modal	6	0.702	0.851	0.865
Modal	7	0.439	0.851	0.865
Modal	8	0.387	0.851	0.9073
Modal	9	0.37	0.9003	0.9073
Modal	10	0.302	0.9003	0.9073
Modal	11	0.254	0.9003	0.932
Modal	12	0.23	0.9292	0.932

Dari Tabel 4.14 didapat partisipasi massa arah X sebesar 90,03% pada moda ke 9 dan partisipasi massa arah Y sebesar 90,73% pada moda ke 8. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI-1726:2012 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkomposisi paling sedikit sebesar 90%.

#### **4.3.5.8 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (Drift)**

Kinerja batas layan struktur gedung sangat ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, membatasi peretakan beton yang berlebihan.

Nilai dari simpangan antar lantai ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur yang selanjutnya batasan simpangan dinyatakan dengan perumusan seperti berikut ini:

Untuk kontrol drift pada SNI 03-1726-2012, dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{XE}}{I}$$

Dimana:

$\delta x$  = defleksi pada lantai ke-x

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi ( =5.5) (SNI tabel 9)

$I$  = faktor keutamaan gedung ( = 1 )

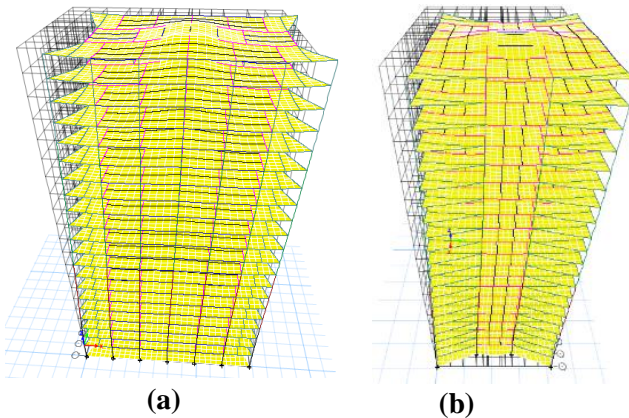
**Tabel 4.19** Batas Simpangan Gedung

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

Untuk sistem struktur rangka pemikul momen khusus (dual system) , drift dibatasi sebesar :

$$\Delta = 0.020.h_{sx} = 0.020 \times 4000 = 80 \text{ mm (Lantai basement)}$$

$$\Delta = 0.020.h_{sx} = 0.020 \times 3100 = 62 \text{ mm (Lantai 1 – 20)}$$



**Gambar 4.32** Simpangan Gedung (a) Arah X (b) Arah Y

**Tabel 4.20** Rekapitulasi Simpangan yang terjadi arah X

Story	X MAX	SYARAT	KONTROL	Y MAX	SYARAT	KONTROL
	Mm	mm	mm	mm	mm	mm
ATAP	39.999	62	OK	11.362	62	OK
20	38.79	62	OK	11.044	62	OK
19	37.413	62	OK	10.733	62	OK
18	35.95	62	OK	10.384	62	OK
17	34.374	62	OK	9.994	62	OK
16	32.704	62	OK	9.572	62	OK
15	30.932	62	OK	9.115	62	OK
14	29.048	62	OK	8.62	62	OK
13	27.056	62	OK	8.089	62	OK
12	24.964	62	OK	7.525	62	OK
11	22.78	62	OK	6.931	62	OK
10	20.521	62	OK	6.307	62	OK
9	18.209	62	OK	5.659	62	OK
8	15.89	62	OK	5.013	62	OK
7	13.546	62	OK	4.346	62	OK
6	11.184	62	OK	3.659	62	OK
5	8.832	62	OK	2.958	62	OK
4	6.546	62	OK	2.256	62	OK
3	4.418	62	OK	1.589	62	OK
2	2.545	62	OK	0.967	62	OK
GROUND	1.059	62	OK	0.448	62	OK
BASEMENT	4.01E-09	80	OK	3.43E-09	80	OK



**Tabel 4.21** Rekapitulasi Simpangan yang terjadi arah Y

Story	X MAX	SYARAT	KONTROL	Y MAX	SYARAT	KONTROL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
ATAP	12.022	62	OK	37.696	62	OK
20	11.656	62	OK	36.794	62	OK
19	11.228	62	OK	35.767	62	OK
18	10.793	62	OK	34.593	62	OK
17	10.324	62	OK	33.261	62	OK
16	9.827	62	OK	31.852	62	OK
15	9.298	62	OK	30.316	62	OK
14	8.736	62	OK	28.653	62	OK
13	8.141	62	OK	26.872	62	OK
12	7.516	62	OK	24.982	62	OK
11	6.864	62	OK	22.991	62	OK
10	6.188	62	OK	20.902	62	OK
9	5.498	62	OK	18.739	62	OK
8	4.804	62	OK	16.568	62	OK
7	4.103	62	OK	14.336	62	OK
6	3.397	62	OK	12.038	62	OK
5	2.694	62	OK	9.694	62	OK
4	2.011	62	OK	7.35	62	OK
3	1.374	62	OK	5.114	62	OK
2	0.806	62	OK	3.035	62	OK
GROUND	0.376	62	OK	1.252	62	OK
BASEMENT	9.29E-09	80	OK	7.72E-09	80	OK

Simpangan yang terjadi didapat dari hasil program bantu ETABS. Berdasarkan persyaratan besarnya kinerja layan yang terjadi pada SNI 1726:2012 pasal 7.9.3, yaitu:

$$\Delta n = \frac{(\delta_2 - \delta_1)Cd}{I} < \Delta a$$

Sehingga berdasarkan simpangan yang terjadi searah sumbu X dan Sumbu Y memenuhi persyaratan.

#### 4.3.5.9 Kontrol Sistem Ganda

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Berikut total reaksi perletakan SRPM dan shearwall

**Tabel 4.22** Reaksi Perletakan dan Persentase Gaya Geser yang Dipikul akibat Gempa Arah X dan Arah Y

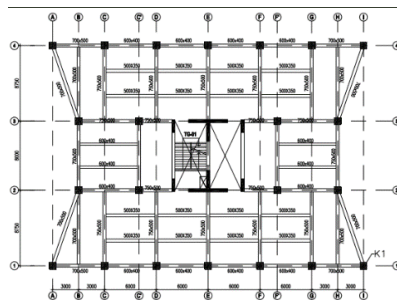
Pemikul Gaya Geser	Gempa X		Gempa Y	
	KN	%	KN	%
SW	1038.862	74,2%	1108.05	74,92%
SRPM	373.1131	25,8%	367.013	25,1%
Total	1411.975	100%	1475.063	100%

Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa persentase total dari SRPM memiliki nilai lebih **besar** dari 25%, sehingga konfigurasi struktur gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur sistem ganda (*dual system*).

## 4.4 Struktur Utama

### 4.4.1 Umum

Struktur utama atau struktur primer adalah suatu komponen yang kekakuannya mempengaruhi perilaku dari suatu gedung. Struktur utama menahan semua kombinasi beban yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa gempa dan angin. Komponen balok induk, kolom dan dinding struktur geser (*shear wall*) merupakan komponen struktur primer. Berikut adalah perhitungan dalam perencanaan kebutuhan tulangan struktur primer tersebut.



**Gambar 4.33** Denah Pembalokan

#### 4.4.2 Perencanaan Balok Induk Pracetak

Perencanaan balok induk dalam struktur Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon ini menggunakan 3 dimensi balok induk yaitu :

- Balok Induk 1 (BI.1) dimensi 50/75 cm (bentang 8,75 meter)
- Balok Induk 2 (BI.2) dimensi 50/70 cm (bentang 6 meter)
- Balok Induk 3 (BI.3) dimensi 40/60 cm (bentang 6 meter)

Penulangan balok induk dihitung dalam 2 kondisi yaitu kondisi sebelum komposit dan setelah komposit. Dari kedua kondisi tersebut diambil perhitungan penulangan dengan jumlah kebutuhan terbesar (kritis) yang akan digunakan untuk kebutuhan penulangan balok induk. Pada contoh perhitungan akan dihitung Balok Induk BI.1 (50/75) dengan bentang 8,75 m.

##### **Data Perencanaan B.I. 1 50/75 :**

Mutu beton ( $f'_c$ )	= 35 MPa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	= 390 MPa
Dimensi Balok Induk	= 50/75 cm
Diameter tulangan longitudinal	= 29 mm
Diameter tulangan sengkang	= 13 mm

##### 4.4.2.1 Penulangan Lentur

###### **A. Balok Induk Sebelum Komposit**

Pada kondisi sebelum komposit, balok pracetak dimodelkan sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan yang digunakan untuk menghitung tulangan pada kondisi sebelum komposit adalah beban yang berasal dari pelat, *overtopping* dan berat balok itu sendiri. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk akan dihitung sebagai beban dengan konsep *tributary area*.

##### **Beban Pada Balok Anak**

$L_x$	= 291,7 mm	= 2,917 m
$L_y$	= 600 mm	= 6 m

➤ **Beban Mati**

$$q_{\text{sendiri pelat}} = 0,14 \times 2400 = 336 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{sendiri balok anak}} = 0,35 \times 0,50 \times 2400 = 420 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{ek balok anak}} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_{\text{pelat}} \times l_x \times \left( 1 - \frac{1}{3} \times \frac{6}{2 \times l_y} \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 336 \times 6 \times \left( 1 - \frac{1}{3} \times \frac{6}{2 \times 2,917} \right) \\ &= 900,7 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati balok anak} = (420 + 900,7) \times 2 = 2641 \text{ kg/m}$$

NB: terdapat 2 balok anak

➤ **Beban Hidup**

$$\begin{aligned} q_{\text{ek pelat}} &= 2 \times \frac{1}{2} \times q_{\text{pelat}} \times l_x \times \left( 1 - \frac{1}{3} \times \frac{6}{2 \times l_y} \right) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times 192 \times 2,917 \times \left( 1 - \frac{1}{3} \times \frac{6}{2 \times 2,917} \right) \\ &= 469,3 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

**Kombinasi Beban**

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 1,2 \times 2641 + 1,6 \times 469,3 = 3921 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat ( $P_D$ ) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 3921 \text{ kg/m} \times 6 \text{ m} = 23523 \text{ kg}$$

**Beban Pada Balok Induk**

Beban yang bekerja pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban ekuivalen pelat. Kemudian dari beban tersebut ditambahkan  $P_u$  dari total pembebanan dari struktur sekunder balok anak dan pelat.

$$L_x = 291,7 \text{ mm} = 2,917 \text{ mm}$$

$$L_y = 600 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$$

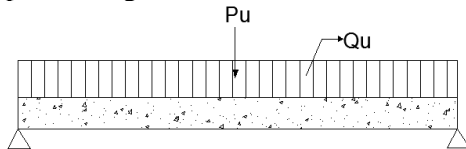
➤ **Beban Mati**

$$q_{\text{sendiri}} = 0,5 \times 0,61 \times 2400 = 732 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{ek pelat}} = \frac{2 \times \frac{1}{4} \times q \times l_x}{1} = 2 \times \frac{1}{4} \times 336 \times 2,917 = 490,1 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban mati balok induk} = 1,2 D = 1,2 \times (732 + 490,1) = 1662 \text{ kg/m}$$

Dari data perhitungan di atas didapatkan pembebanan balok induk sebelum komposit sebagai berikut



**Gambar 4.34** Pembebanan BI 50/75 Sebelum Komposit

Momen yang terjadi sebelum komposit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{Q_u \times L^2}{8} + \frac{P_u \times L}{2} \\ &= \frac{1662 \times 8,75^2}{8} + \frac{23523 \times 8,75}{2} \\ &= 430901 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Jadi, momen ( $M_u$ ) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan lentur balok induk sebelum komposit adalah 430901 kg.m.

### **Perhitungan Tulangan Lentur**

➤ **Data Perencanaan**

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 35 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 390 MPa
- Dimensi balok = 50/60 cm
- Diameter tulangan utama = 29 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

$$d = h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b$$

$$d = 600 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (29) = 518,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390} = 0,003792$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,5 \times \sqrt{f'c}}{fy} = \frac{0,5 \times \sqrt{35}}{390} = 0,00358$$

Digunakan  $\rho_{\min}$  terbesar antara 2 perhitungan  $\rho_{\min}$  di atas,

$$\rho_{\min} = 0,00379$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,1$$

### ➤ Tulangan Tumpuan

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momennya adalah nol, namun tetap diberi penulangan tumpuan sebesar setengah dari penulangan lapangan.

Digunakan  $\rho_{\min}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00379 \times 500 \times 518,5 \text{ mm}^2 = 983,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD25}} = \frac{983,17}{660,52} = 1,49 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D29} \\ &= 2 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ &= 1321,039 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**∴ Maka digunakan tulangan lentur 2D29**

### ➤ Tulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 43,09 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{\phi \times b \times d} = \frac{43,09 \times 10^6}{0,75 \times 500 \times 518,5^2} = 0,356 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d} = \frac{784,68 \times 10^6}{0,75 \times 500 \times 661,5} = 3,98 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,1 \times 3,98}{390}} \right) = 0,011 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,00092 < \rho_{\min} = 0,00379 \text{ dipakai } \rho_{\min} \text{ sehingga}$$

didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00379 \times 500 \times 518,5 \text{ mm}^2 = 983,17 \text{ mm}^2 \\ n_{tulangan} &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{sD_{25}}} = \frac{983,17}{660,52} = 1,49 \approx 2 \text{ buah} \\ A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D_{29}} \\ &= 2 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ &= 1321,039 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 2D29**

**Kontrol kekuatan :**

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1321,039}{500 \times 518,5} = 0,005 > \rho_{perlu} \\ a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{1321,039 \times 390}{0,85 \times 500 \times 35} = 34,63 \\ c &= \frac{a}{\beta_1} = 43,29 \\ \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{518,5-43,29}{43,29} \times 0,003 = 0,03 > 0,005 \end{aligned}$$

∴ **Faktor Reduksi  $\phi = 0,9$  "OK"**

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,75 \times 1321,04 \times 390 \left( 518,5 - \frac{34,63}{2} \right) \\ &= 193658852,5 \text{ Nmm} = 193,659 \end{aligned}$$

$M_u > M_{lapangan} \dots (\text{OK})$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 2D29**

## **B. Balok Induk Sesudah Komposit**

➤ **Data Perencanaan**

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 35 MPa
  - Mutu baja ( $f_y$ ) = 390 MPa
  - Dimensi balok = 50/75 cm
  - Diameter tulangan utama = 29 mm
  - Diameter tulangan sengkang = 13 mm
- $$d = h - d' - \phi - \frac{1}{2} d_b = 750 - 50 - 13 - \frac{1}{2} (29) = 658,5 \text{ mm}$$
- $$d' = 50 + 13 + \frac{1}{2} (29) = 76 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,003792$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,5 \times \sqrt{f'c}}{f_y} = \frac{0,5 \times \sqrt{35}}{390} = 0,00358$$

Digunakan  $\rho_{\min}$  terbesar antara 2 perhitungan  $\rho_{\min}$  di atas,

$$\rho_{\min} = 0,00379$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,1$$

### ➤ Balok T

↳ Lebar efektif balok T beam

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 875 = 218,75 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times tp = 8 \times 14 = 112 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 500 = 250 \text{ cm}$$

↳ Kontrol Balok T beam

$$be = 1120 \text{ mm}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times b \times f'c} = \frac{1321,039 \times 390}{0,85 \times 1120 \times 35} = 10,83$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{10,83}{0,764} = 12,79 \text{ mm}$$

$$c = 12,79 \text{ mm} < tf = 140 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

### Momen yang terjadi sesudah komposit (ETABS)

$$\text{Momen tumpuan} = -784680,26 \text{ KN.mm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 304955,4 \text{ KN.mm}$$

### ➤ Tulangan Tumpuan Atas:

$$M_{\text{tumpuan}} = -784,680 \text{ KNm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D29

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$dx = 658,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 784,680 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d} = \frac{784,68 \times 10^6}{0,75 \times 500 \times 658,5} = 4,02 \text{ N/mm}^2$$



$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{13,1} \sqrt{1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,1 \times 4,02}{390}}} = 0,011\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,011 > \rho_{\text{min}} = 0,00379$  dipakai  $\rho_{\text{perlu}}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,011 \times 500 \times 658,5 \text{ mm}^2 \\ &= 3661,87 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_{\text{tulangan}} &= A_{s\text{perlu}} / A_s \text{ D29} \\ &= \frac{3661,87}{660,52} = 3,54 \approx 4 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A \text{ D}_{29} \\ &= 4 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ &= 2963,119 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ... OK}\end{aligned}$$

∴ **Maka digunakan tulangan lentur 4D29**

#### ➤ Perhitungan Syarat Tulangan Tekan:

Persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

$$\begin{aligned}\text{➤ } n_{\text{bawah}} &\geq 1/3 n_{\text{atas}} \\ n_{\text{bawah}} &\geq 1/3 \times 6 = 2\end{aligned}$$

Ambil jumlah tulangan bawah = 2 buah, syarat  $\geq 2$  buah. Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **2D29 (  $A_s' = 981,75 \text{ mm}^2$  )**

#### ➤ Kontrol Kekuatan:

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{3963,119}{500 \times 658,5} = 0,012 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b \times f_c'} = \frac{3963,119 \times 390}{0,85 \times 500 \times 35} = 46,38$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{46,38}{0,8} = 57,9$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{658,5-57,9}{57,9} \times 0,003 = 0,012 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi  $\phi = 0,9$  "OK"**

$$\begin{aligned}
 M_u &= \phi \times A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \times 3963,11 \times 390 \left( 658,5 - \frac{46,38}{2} \right) \\
 &= 883746132,3 \text{ Nmm} = 883,746 \text{ kNm} \\
 M_u &> M_{\text{tumpuan}} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

➤ **Kontrol Tulangan Rangkap:**

$$\begin{aligned}
 \rho &= 0,012 \\
 \rho' &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{983,17}{500 \times 658,5} = 0,003 > \rho_{\text{perlu}} \\
 \rho - \rho' &\geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - 390} \\
 0,003 &\geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,85 \times 76}{390 \times 658,5} \times \frac{600}{600 - 390} \\
 0,003 &\leq 0,021 \text{ (tulangan belum leleh)} \\
 f'_s &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y \\
 f'_s &= 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{(0,003) \times 390} \times \frac{76}{658,5} \right| \leq 390 \text{ MPa} \\
 f'_s &= |-808,64| \leq 390 \text{ Mpa (dalam kondisi tarik)}
 \end{aligned}$$

Maka diambil  $f'_s = 390 \text{ Mpa}$  (dalam kondisi tarik)

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{3963,11 \times 390 - 983,17 \times 390}{0,85 \times 500 \times 390} = 7,01 \text{ mm} \\
 M_n &= (3963,11 \times 390 - 983,17 \times 390) \times \left( 658,5 - \frac{7,01}{2} \right) + \\
 &\quad 983,17 \times 390 (658,5 - 76) \\
 &= 984571506 \text{ Nmm} \\
 M_u &= \phi M_n = 0,9 \times 984571506 = 886114356 \text{ Nmm} \\
 M_u &= 886,114 > M_{\text{tumpuan}} = 784,680 \text{ kNm} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

➤ **Tulangan Lentur Lapangan:**

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut :

Tulangan lapangan bawah

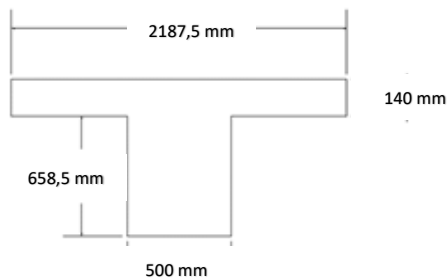
$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 875 = 218,75 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 50 + (16 \times 14) = 274 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (875 - 50) = 412,5 \text{ cm}$$

$$b = be_1 = 218,75 \text{ cm (terkecil)}$$

$$dx = 658,5 \text{ mm}$$



**Gambar 4.35** Potongan Balok T BI 50/75

Direncanakan menggunakan tulangan D29

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$dx = 658,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 304,955 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b x d} = \frac{304,955 \times 10^6}{0,75 \times 500 \times 658,5} = 1,56 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,1 \times 1,56}{390}} \right) = 0,00412 \end{aligned}$$

$\rho_{perlu} = 0,00412 > \rho_{min} = 0,00379$  dipakai  $\rho_{perlu}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00412 \times 500 \times 658,5 \text{ mm}^2 \\ &= 1355,99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n_{\text{tulangan}} = A_{s\text{perlu}} / A_s D29 = \frac{1355,99}{660,52} = 2,05 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D29} \\ &= 3 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ &= 1981,559 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

**∴ Maka digunakan tulangan lentur 3D29**

➤ **Perhitungan Syarat Tulangan Tekan:**

Persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat atas tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

$$\begin{aligned} n_{\text{bawah}} &\geq 1/3 n_{\text{atas}} \\ n_{\text{bawah}} &\geq 1/3 \times 3 = 1 \end{aligned}$$

Ambil jumlah tulangan bawah = 2 buah, syarat  $\geq 2$  buah. Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **2D29** ( $A_s' = 981,75 \text{ mm}^2$ )

➤ **Kontrol Tulangan Rangkap:**

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{981,75}{500 \times 658,5} = 0,003 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \times d} = \frac{1321,04}{500 \times 658,5} = 0,003 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$0 \geq \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y}$$

$$0 \geq \frac{0,85 \times 35 \times 0,8 \times 76}{390 \times 658,5} \times \frac{600}{600 - 390} = 0,02 \text{ (tulangan tekan belum leleh)}$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{(\rho - \rho') \times f_y} \times \frac{d'}{d} \right| \leq f_y$$

$$f's = 600 \times \left| 1 - \frac{0,85 \times 0,8 \times 35}{0,0092 \times 390} \times \frac{76}{658,5} \right| \leq 390$$

$$f's = 140,66 \text{ MPa} \leq 390 \text{ Mpa}$$

Maka diambil  $f's = 140,66 \text{ Mpa}$

$$a = \frac{A_s \times f_y - A's \times f's}{0,85 \times b \times f_c} = \frac{983,17 \times 390}{0,85 \times 500 \times 35} = 25,77 \text{ mm}$$

$$M_n = (A_s \times f_y - A's \times f's) \times \left( d - \frac{a}{2} \right) + A's \times f's \times (d - d')$$

$$= (983,17 \times 390) \times \left(658,5 - \frac{25,77}{2}\right) + 983,17 \times 390 \times 582,5 = 470903871,6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \phi M_n = 0,9 \times 470903871,6 = 423813484,4 \text{ Nmm} \\ &= 423,813 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\mu > \mu_{\text{lapangan}} = 304,955 \text{ kNm} \dots \text{OK}$$

➤ **Cek Balok T Palsu:**

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 983,17 \times 390 = 383436,3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 0,85 \times f'_c \times b_e \times h_f \\ &= 0,85 \times 35 \times 218,75 \times 140 = 911093,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena  $C > T$ , maka balok dianggap sebagai balok T palsu, berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar  $b_e$ .

$$a = 25,77 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{983,17}{500 \times 658,5} = 0,003 > \rho_{\text{min}}$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} = \frac{25,77}{0,8} = 32,21 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{658,5-32,21}{32,21} \times 0,003 = 0,058 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi  $\phi = 0,9$  "OK"**

$$\begin{aligned} \mu &= \phi \times A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1981,559 \times 390 \left(658,5 - \frac{25,77}{2}\right) \\ &= 449040759 \text{ Nmm} = 449,040 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\mu > \mu_{\text{lapangan}} \dots (\text{OK})$$

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Akibat momen tumpuan
  - Tulangan atas = 4D29 ( $A_s = 2963,119 \text{ mm}^2$ )
  - Tulangan bawah = 2D29 ( $A_s = 981,75 \text{ mm}^2$ )
- Akibat momen lapangan
  - Tulangan atas = 2D29 ( $A_s = 981,75 \text{ mm}^2$ )
  - Tulangan bawah = 3D29 ( $A_s = 1981,559 \text{ mm}^2$ )

#### 4.4.2.2 Penulangan Geser dan Torsi

Sesuai peraturan SNI 2847:2013 bab 11 mengenai geser dan torsi, perencanaan tulangan geser dan torsi mengikuti kaidah berikut ini :

Perencanaan penampang yang diakibatkan oleh geser harus didasarkan pada perumusan :

$$\Phi V_n = V_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1})$$

Dengan  $V_u$  merupakan gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  merupakan kuat geser nominal yang ditinjau dari :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

$V_u$  = Geser pada terfaktor penampang yang ditinjau

$\Phi$  = Faktor reduksi geser ( 0,9 )

$V_n$  = Kuat Geser nominal

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat Geser nominal tulangan geser

Sedangkan untuk perencanaan penampang yang diakibatkan oleh torsi harus didasarkan pada perumusan sebagai berikut

$$\Phi T_n = T_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.5})$$

Tulangan sengkang untuk torsi harus direncanakan berdasarkan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.3.6) sesuai persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yt}}{s} x \cot \theta$$

Dimana :

$T_n$  = Kuat momen torsi ( $T_c + T_s > T_{u_{\min}}$ )

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$T_c$  = Kuat torsi nominal yang disumbngkan oleh beton

$A_o$  = Luas bruto yang ditasi oleh lintasan aliran geser, mm

$A_t$  = Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak  $s$ , mm<sup>2</sup>

$F_{yv}$  = kuat leleh tulangan sengkang torsi, Mpa

- s = Spasi tulangan geser atau puntir dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal

Sesuai peraturan (SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1) pengaruh torsi balok diabaikan bila momen torsi terfaktor  $T_u$  kurang dari :

$$\phi 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

Dimana :

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan

$F_c'$  = Kuat tekan beton, Mpa

$A_{cp}$  = Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton,  $\text{mm}^2$

$P_{cp}$  = Keliling luar penampang beton,  $\text{mm}^2$

#### A. Penulangan Geser

Nilai momen nominal maksimum dari cek momen tulangan nominal terpasang dengan asumsi tumpuan kiri dan kanan memiliki jumlah tulangan yang sama. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 persamaan yang digunakan dalam menghitung tulangan geser adalah sebagai berikut :

$$M_{pr} = A_s \times 1,25 \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$a = \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

**Tabel 4.23** Perhitungan  $M_{pr}$  BI.1

LOKASI			n	As Perlu ( $\text{mm}^2$ )	a (mm)	$M_{pr}$ (kNm)
Tumpuan	Kiri	Atas	4	2963,119	86.59	792.39
		Bawah	3	1981,56	64.94	604.75
	Kanan	Atas	4	2963,119	86.59	792.39
		Bawah	3	1981,56	64.94	604.75

$$M_{pr1} = 792,39 \text{ kNm}$$

$$M_{pr2} = 604,75 \text{ kNm}$$

$$l_n = 8,35 \text{ m}$$

$W_u = 39,21 \text{ KN/m}$  (distribusi beban segitiga dan trapesium)

➤ Analisa terhadap gempa kiri = gempa kanan

$$V_u = \frac{792,39 + 604,75}{8,35} - \frac{39,21 \times 8,35}{2} = 3,62 \text{ kN}$$

$$V_u = \frac{792,39 + 604,75}{8,35} + \frac{39,21 \times 8,35}{2} = 331 \text{ kN}$$

➤ Pemasangan Senggang Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap  $V_c = 0$ , apabila:

- $M_{pr} > 0,5 \times \text{Total geser kombinasi gempa dan gravitasi}$   

$$= \frac{792,39 + 604,75}{8,35} > 0,5 \times 363,8$$

$$= 167,32 \text{ kN} > 165,5 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

- Gaya Aksial Tekan  $< 0,2 \times A_g \times f_c'$   
 $137,3 \text{ kN} < 2625 \text{ kN} \dots \text{OK}$

Karena Gaya Aksial terlalu kecil maka memenuhi:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \times b_w \times d = 0,9 \times \frac{\sqrt{35}}{6} \times 500 \times 658,5$$

$$= 292180,39 \text{ N} = 292,18 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_s}{\phi} - V_c = \frac{363,82}{0,9} - 292,18 = 124,51 \text{ kN}$$

Rencanakan tulangan geser  $2\phi 13 \text{ mm}$  ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 390 \times 658,5}{124,51} = 547,52 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 bahwa syarat jarak antar sengkang untuk sendi plastis tidak boleh melebihi :

- $d/4 = 413,5/4 = 103 \text{ mm}$
- $6 D_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $150 \text{ mm}$

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang =  $100 \text{ mm}$ .



Sehingga nilai kuat geser diperoleh sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_s \times f_y \times d}{s} = \frac{265,46 \times 390 \times 658,5}{100 \times 1000} = 681,7 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = 0,9 \times 681,7 = 613,56 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \phi(V_c + V_s) &= 0,9 \times (292,18 + 613,56) \\ &= 905,74 \text{ kN} > 613,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sengkang yang dipasang 2D13 mm sejarak 100 mm dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut mengacu pada SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 sebagai berikut :

- $S_{\max}$  sepanjang sendi plastis di ujung balok  
 $2h = 2 \times 750 = 1500 \text{ mm}$
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan

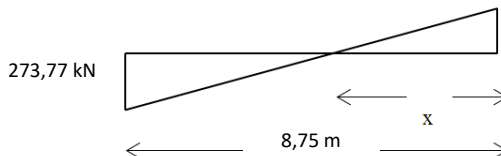
Kontrol kuat geser balok induk interior tidak boleh lebih besar dari syarat SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9

$$\begin{aligned} V_{s_{\max}} &= \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} \\ &= \frac{2}{3} \times 500 \times 658,5 \times \sqrt{35} = 1298579 \text{ N} \\ &= 1298,579 \text{ kN} > 613,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sehingga sengkang 2D13 – 100 dapat digunakan.

➤ Pemasangan sengkang di luar daerah sendi plastis

Pemasangan tulangan sengkang di luar daerah sendi plastis dimulai dari 1500 mm dari ujung balok dimana gaya geser yang digunakan merupakan gaya geser dari hasil analisa struktur dengan besar beban gempa dan memperhitungkan pula kuat geser yang disumbangkan oleh beton.



**Gambar 4.36** Penentuan Jarak x di Luar Sendi Plastis

Persamaan segitiga untuk mencari jarak x:

$$\frac{x}{8,75-x} = \frac{117,16}{273,77}$$

$$x = 4,48 \text{ m}$$

Vu pada jarak = 1500 mm dari tumpuan

$$\frac{4,48}{4,48-1,5} = \frac{117,16}{x}$$

$$x = 78 \text{ kN}$$

Vu = 78 kN pada jarak 1500 mm

$$V_s = \frac{Vu}{\phi} = \frac{78}{0,9} = 86,675 \text{ kN}$$

Jika dipakai begel 2 kaki dengan  $\phi$  13 (  $A_v = 157,08 \text{ mm}^2$  )

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$= \frac{265,46 \times 390 \times 658,5}{86,675} = 768,562 \text{ mm}$$

Syarat pemasangan begel di luar sendi plastis berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.4 :

$$1/2 \times d = 1/2 \times 658,5 = 329 \text{ mm}$$

Jadi dipasang begel 2  $\phi$  13 – 300 mm sebanyak :

$$L_n = 8350 \text{ mm}$$

$$\frac{L_n - 4 \times h}{s} + 1 = \frac{8350 - 4 \times 750}{300} + 1 = 18,3 \approx 19 \text{ buah}$$

## B. Penulangan Torsi

$$\text{Dimensi Balok Induk BI 1} = 50/75 \text{ cm}$$

$$T_u = 38,607 \text{ KNm}$$

Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut :

$$T_u < \phi \frac{\sqrt{f'_c}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

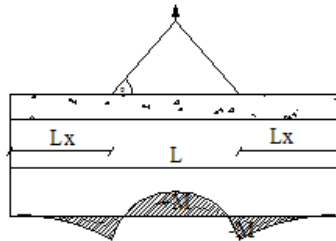
$$38,607 \text{ KNm} < 0,75 \times \frac{\sqrt{35}}{12} \left( \frac{(500 \times 750)^2}{(500 + 750) \times 2} \right) \text{ Dengan}$$

$$38,607 \text{ KNm} < 40,53 \text{ Nmm}$$

demikian tulangan torsi diabakain saja.

#### 4.4.2.3 Pengangkatan Balok Induk BI 1

Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



**Gambar 4.37** Momen saat pengangkatan BI 50/75

#### ➤ Kondisi Pengangkatan Balok Sebelum Komposit

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 61 \text{ cm}$$

$$L = 875 \text{ cm}$$

Dimana :

$$+ M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$- M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left( 1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

### Perhitungan

$$Y_t = Y_b = \frac{(61 - 14)}{2} = 23,5 \text{ cm}$$

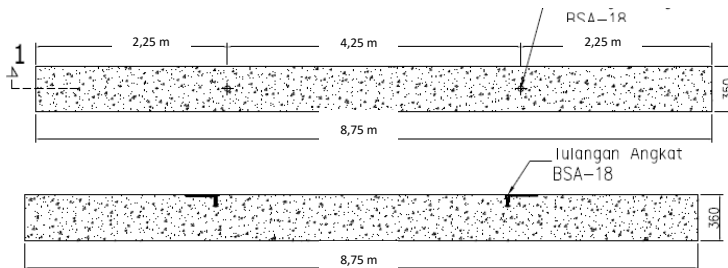
$$I = \frac{1}{12} \times 50 \times 61^3 = 945754,16 \text{ cm}^4$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 28,5 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 28,5}{875 \times \operatorname{tg} 45^\circ}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{23,5}{23,5} \left( 1 + \frac{4 \times 28,5}{875 \times \operatorname{tg} 45^\circ} \right)} \right)} = 0,256$$

$$X \times L = 0,256 \times 875 = 224,1 \text{ cm} = 2,25 \text{ m}$$

$$L - 2 \times (X \times L) = 8,75 - 2 \times 2,25 = 4,25 \text{ m}$$



**Gambar 4.38** Letak Titik Pengangkatan BI 50/75

### ➤ **Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,5 \times 0,61 \times 2400) = 64,05 \text{ kN}$$

$$T \sin \phi = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

$$T = \frac{1,2 \times 1,2 \times 64,05}{2} = 46,116 \text{ kN}$$

$$T = \frac{46,116}{\sin 45^\circ} = 54,19 \text{ kN}$$

➤ **Tulangan Angkat Balok**

$$P_u = 34,884 \text{ KN}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang mutu  $f_y = 420 \text{ Mpa}$  adalah  $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 390/1,5 = 260 \text{ MPa}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}} = 2,05 \text{ cm}$$

Digunakan tulangan angkat  $\phi 22 \text{ mm}$

➤ **Momen yang Terjadi**

• **Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,50 \times 0,61 \times 2400) = 732 \text{ kg/m} = 7,32 \text{ KN/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut :

• **Momen Lapangan**

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$+M = \left( \frac{7,32 \times 8,75^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,265 + \frac{4 \times 28,5}{8,75 \times \tan 45} \right) \right) \times 1,2$$

$$= 8,89 \text{ KNm}$$

➤ **Tegangan yang Terjadi**

$$f = \frac{M}{W_t} = \frac{8,89}{\frac{1}{6} \times 0,5 \times 0,61^2}$$

$$f = 286,96 \text{ kN/m}^2$$

$$f = 0,28 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c} = 4,14 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

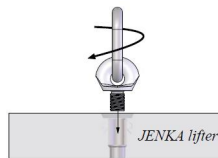
Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai  $f'$  akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai  $f'_{ijin}$  usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

➤ **Pemilihan Profil Tulangan Angkat**

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut  $0^\circ$ - $90^\circ$ .



**Gambar 4.39** (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



**Gambar 4.40** *JENKA Lifter*

#### 4.4.2.4 Rekap Penulangan Balok Induk Pracetak

Pada **Tabel 4.24** dapat dilihat mengenai rekap penulangan balok induk pracetak.

**Tabel 4.24 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk Pracetak**

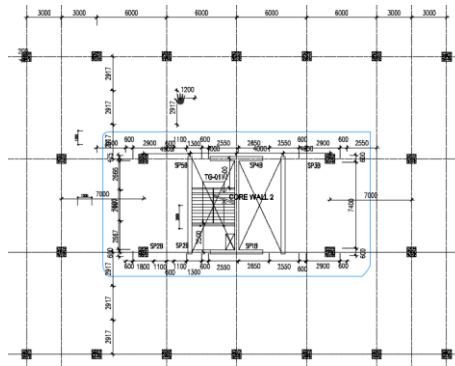
KODE	BI.1		BI.2		BI.3	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA						
KETERANGAN:	-		-		-	
PENAMPANG BALOK	500 mm x 750 mm		500 mm x 700 mm		400 mm x 600 mm	
DEKING	30 mm		30 mm		30 mm	
ATAS	4 D29	2 D29	3 D29	2 D29	3 D25	2 D25
TENGAH	4 D29	4 D29	4 D29	4 D29	2 D25	2 D25
BAWAH	2 D29	3 D29	2 D29	3 D29	2 D25	2 D25
BEGEL	D13 - 100	D13 - 200	D13 - 100	D13 - 200	D13 - 100	D13 - 200

**4.4.3 Perencanaan Kolom Pracetak**

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul seluruh beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Perencanaan kolom pracetak ini dibedakan menjadi 4 tipe kolom dengan data sebagai berikut :

**4.4.3.1 Data Umum Perencanaan Kolom**

- Dimensi Kolom
  - Lt. *Basement* – 4 : 80/80 cm
  - Lt. 5 – 8 : 70/70 cm
  - Lt. 10 – 16 : 60/60 cm
  - Lt. 17 – 20 : 50/50 cm
  - Shearwall : tebal 35 cm
- Tebal decking (d') : 50 mm
- Mutu tulangan (fy) : 390 MPa
- Mutu beton (f'c) : 35 MPa



**Gambar 4.41** Denah Kolom

#### 4.4.3.2 Perencanaan Kolom Lantai 1 – 4

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS diexport beban aksial dan momen dari semua kombinasi beban yang bekerja pada kolom 80/80cm, yaitu :

$$\begin{aligned} P_{u_{\max}} &: 8917,44 \text{ KN} \\ V_{u_{\max}} &: 237 \text{ KN} \\ T_{u_{\max}} &: 1,27 \text{ KNm} \end{aligned}$$

##### ➤ Kontrol Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 jika komponen struktur SRPMK menahan gaya tekan aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi ialah sebesar  $\geq A_g \times \frac{f_c}{10}$ , maka komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi- kondisi sebagai berikut :

- Dimensi penampang terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm.  
 $800 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$
- Rasio dimensi besar dari 0.4  
 $\text{Rasio } b/h = 800/800 = 1 > 0.4$

Dari hasil running program didapatkan gaya aksial terfaktor terbesar adalah 8202,15 KN

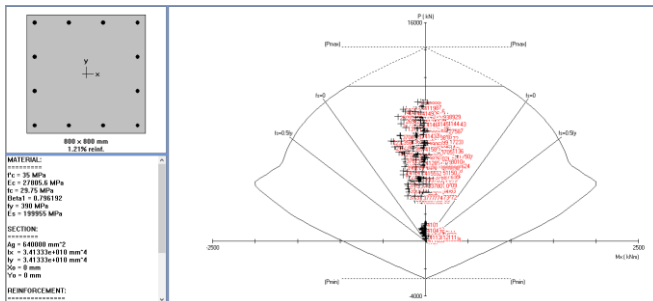


$$8917,44 \text{ KN} \geq 800 \times 800 \times \frac{35}{10} \times \frac{1}{1000}$$

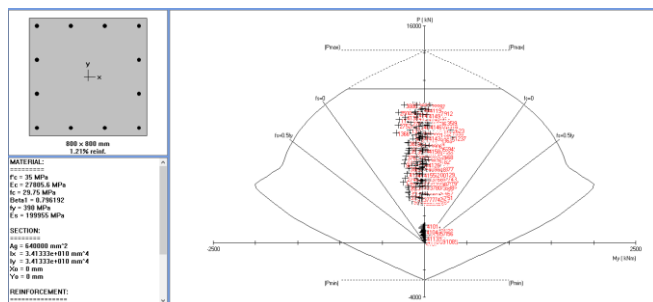
$$8917,44 \text{ KN} \geq 2240 \text{ KN} \dots \text{OK}$$

### ➤ Penulangan Longitudinal Kolom

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu SP Column, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom akibat sumbu X dan sumbu Y yang dapat dilihat pada Gambar 4.46 dan 4.47, yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4.42** Output spColumn Kolom 80x80 cm Arah X



**Gambar 4.43** Output spColumn Kolom 80x80 cm Arah Y

Grafik Interaksi Aksial dan Momen Pada Kolom  
 $\phi M_n = 2029 \text{ KNm} > M_u = 321,23 \text{ KNm} \dots \text{OK}$

➤ **Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal pada Kolom**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0.01 A_g$  atau lebih dari  $0.06 A_g$ .

$$A_s = 7926,24 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 640000.00 \text{ mm}^2$$

Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCA COL diperoleh Tulangan longitudinal : 12D29, dengan rasio tulangan = 1,21 % (OK)

➤ **Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap Beban Aksial Terfaktor**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi P_n = 0.8 \phi (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y (A_{st}))$$

$$\phi P_n = 11385,622 \text{ kN}$$

Dimana:

$$P_u = 8917,44 \text{ kN}$$

$$\phi = 0.65$$

$$A_g = 800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 14 \frac{1}{4} \pi 29^2 = 7926,24 \text{ mm}^2$$

Sehingga:

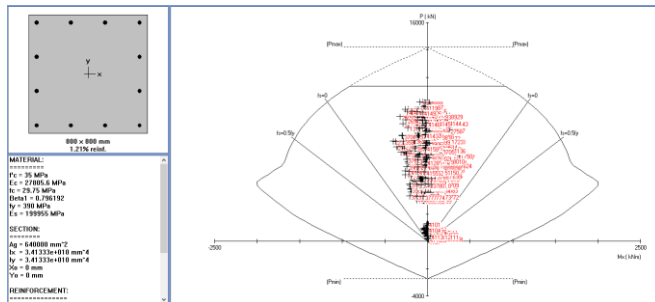
$$\phi P_n = 11633,09 \text{ kN} > P_u = 10199,88 \text{ kN} \dots (\text{OK})$$

➤ **Kontrol Gaya Tekan terhadap Gaya Geser Rencana**

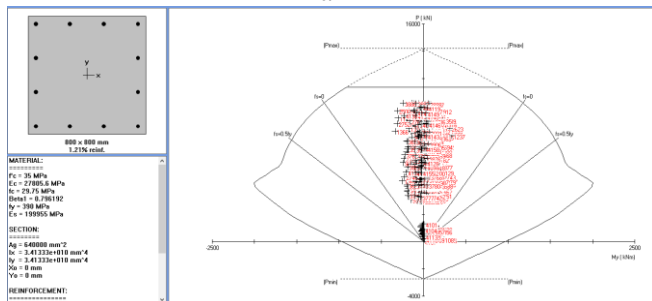
Gaya geser rencana,  $V_e$ , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1. Momen-momen ujung  $M_{pr}$  berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar  $1,25 f_y$  adalah kekuatan leleh yang ditetapkan

$$f_s = 1,25 \times f_y = 1,25 \times 390 = 487,5 \text{ Mpa}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 21.6.2.2)



**Gambar 4.44** Output spColumn (setelah Mpr) Kolom 80x80 cm  
Arah X



**Gambar 4.45** Output spColumn (setelah Mpr) Kolom 80x80 cm  
Arah Y

$$Ln = 3100 \text{ mm}$$

$$Mprx = 2430 \text{ KNm}$$

$$Vex = \frac{2 \times Mpr}{Ln} = \frac{2 \times 2029}{2,6}$$

$$Vex = 1560,76 \text{ KN} > Vu = 237 \text{ KN} \dots OK$$

$$Vex > Vu \quad (\text{SNI 2847:2013 Pers. 21-1})$$

### ➤ Perhitungan Tulangan Geser

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6, ujung-ujung kolom sepanjang  $l_o$  harus dikekang oleh tulangan trasversal ( $A_{sh}$ ) dengan spasi sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.6

⇒ Pemasangan Tulangan di Daerah Sendi Plastis

Jarak Tulangan Maksimum :

- $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 800 = 200 \text{ mm}$
- $6 d_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$
- $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
- $S_o = 100 + \left( \frac{350 - (0.5x(700 - 2x(40 + 13/2)))}{3} \right)$   
 $= 152,166 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm.

$A_{sh_{\min}}$  sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cx} = 800 - 50 - 2 \times 13 = 724 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (800 - 50 \times 2) \times (800 - 50 \times 2) = 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \left[ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right]$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{100 \times 734 \times 35}{390} \left[ \frac{640000}{490000} - 1 \right]$$

$$A_{shx} = 596,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} = 0.09 \frac{100 \times 724 \times 35}{390} = 584,7 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan 5D13-100

$$(A_{sh} = 663,66 \text{ mm}^2) > 596,7 \text{ mm}^2$$

⇒ Pemasangan Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, sisa panjang kolom di luar sendi plastis tetap harus dipasang tulangan transversal dengan tidak lebih dari :

$$- 6 \times d_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

$$- 150 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $s = 150 \text{ mm}$

### ➤ Kontrol Kebutuhan Torsi

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari :

$$Nu = 8917,44 \text{ KN}$$

$$T_u = 1,01 \text{ KNm}$$

$$A_g = 640000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cp} = 518400 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2920 \text{ mm}$$

$$T_n = \phi 0.33 \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{Nu}{0.33 \sqrt{f'c}}}$$

$$T_n = 0.65 \cdot 0.33 \sqrt{40} \left( \frac{360000^2}{2480} \right) \sqrt{1 + \frac{8202150}{0.33 \sqrt{40}}}$$

$$T_n = 162162,5 \text{ KNm}$$

$$T_n = 249605.77 \text{ KNm} > T_u = 1,27 \text{ KNm}$$

Maka tulangan torsi diabaikan.

#### 4.4.3.3 Perencanaan Kolom Lantai 5 – 8

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS diexport beban aksial dan momen dari semua kombinasi beban yang bekerja pada kolom 70/70cm, yaitu :

$$P_{u_{\max}} : 8002.81 \text{ kN}$$

$$V_{u_{\max}} : 256.69 \text{ kN}$$

$$T_{u_{\max}} : 0,19 \text{ kNm}$$

#### ➤ Kontrol Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.1 jika komponen struktur SRPMK menahan gaya tekan aksial terfaktor akibat sembarang kombinasi ialah sebesar  $\geq A_g \times \frac{f'_c}{10}$ , maka komponen struktur rangka ini harus juga memenuhi kondisi- kondisi sebagai berikut :

- Dimensi penampang terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm.  
 $700 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$
- Rasio dimensi besar dari 0.4  
 $\text{Rasio } b/h = 700/700 = 1 > 0.4$

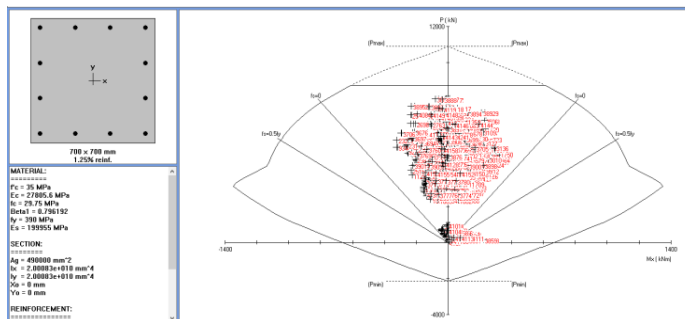
Dari hasil running program didapatkan gaya aksial terfaktor terbesar adalah 8202,15 KN

$$8002,81 \text{ KN} \geq 700 \times 700 \times \frac{35}{10} \times \frac{1}{1000}$$

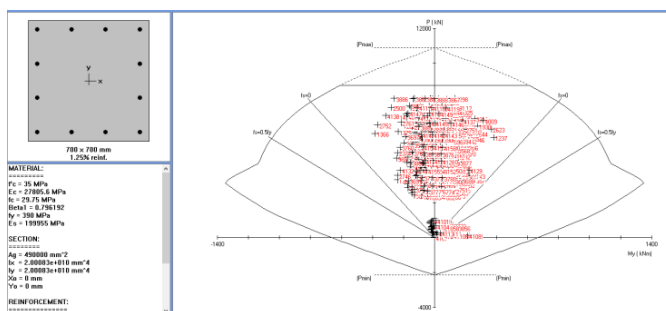
$$8002,81 \text{ KN} \geq 1715 \text{ KN} \dots \text{OK}$$

### ➤ Penulangan Longitudinal Kolom

Dari beban aksial dan momen yang terjadi, kemudian dilakukan perhitungan penulangan memanjang kolom menggunakan program bantu SP Column, didapatkan diagram interaksi antara aksial dan momen pada kolom akibat sumbu X dan sumbu Y yang dapat dilihat pada Gambar 4.50 dan 4.51, yaitu sebagai berikut :



**Gambar 4.46** Output spColumn Kolom 70x70 cm Arah X



**Gambar 4.47** Output spColumn Kolom 70x70 cm Arah Y

Grafik Interaksi Aksial dan Momen Pada Kolom  
 $\phi M_n = 1375 \text{ KNm} > M_u = 324,77 \text{ kNm} \dots \text{OK}$

➤ **Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal pada Kolom**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6, Luas tulangan memanjang,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0.01 A_g$  atau lebih dari  $0.06 A_g$ .

$$A_s = 5890.49 \text{ mm}^2$$

$$A_g = 490000.00 \text{ mm}^2$$

Dari diagram interaksi yang dibuat oleh program PCA COL diperoleh Tulangan longitudinal : 12D25, dengan rasio tulangan = 1,2 % (OK)

➤ **Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom terhadap Beban Aksial Terfaktor**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2 : kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\phi P_n = 0.8 \phi (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y (A_{st}))$$

$$\phi P_n = 8683,765 \text{ kN}$$

Dimana:

$$P_u = 8002,81 \text{ kN}$$

$$\Phi = 0.65$$

$$A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 14 \frac{1}{4} \pi 25^2 = 5890.49 \text{ mm}^2$$

Sehingga:

$$\phi P_n = 8683.764785 \text{ KN} > P_u = 8002.81 \text{ KN} \dots (\text{OK})$$

➤ **Kontrol Gaya Tekan terhadap Gaya Geser Rencana**

Gaya geser rencana,  $V_e$ , untuk menentukan kebutuhan tulangan geser kolom menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1.

$$f_s = 1,25 \times f_y = 1,25 \times 390 = 487,5 \text{ Mpa}$$





Jarak Tulangan Maksimum :

- $\frac{1}{4} b_{\text{kolom}} = \frac{1}{4} \times 700 = 175 \text{ mm}$
- $6 d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $100 \text{ mm} \leq S \leq 150 \text{ mm}$
- $S_o = 100 + \left( \frac{350 - (0.5x(700 - 2x(40 + 13/2)))}{3} \right)$   
 $= 168,83 \text{ mm}$

Digunakan jarak tulangan di daerah sendi plastis 100 mm.

$A_{sh_{\min}}$  sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

$$b_{cx} = 700 - 40 - 2 \times 13 = 624 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (700 - 40 \times 2) \times (700 - 40 \times 2) = 360000 \text{ mm}^2$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{s b_c f' c}{f_{yt}} \left[ \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right]$$

$$A_{shx} = 0.3 \frac{100 \times 624 \times 35}{390} \left[ \frac{640000}{360000} - 1 \right]$$

$$A_{shx} = 606,667 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{s b_c f' c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh1} = 0.09 \frac{100 \times 624 \times 35}{390} = 504 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan 5D13-100

$$(A_{sh} = 663,66 \text{ mm}^2) > 606,67 \text{ mm}^2$$

⇒ Pemasangan Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, sisa panjang kolom di luar sendi plastis tetap harus dipasang tulangan transversal dengan tidak lebih dari :

$$- 6 \times d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

$$- 150 \text{ mm}$$

Maka dipakai  $s = 150 \text{ mm}$

➤ **Kontrol Kebutuhan Torsi**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2, pengaruh puntir untuk struktur non-prategang yang dibebani tarik atau tekan aksial dapat diabaikan bila nilai momen puntir kurang dari :

$$N_u = 8002,81 \text{ KN}$$

$$T_u = 0,19 \text{ KNm}$$

$$A_g = 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{cp} = 490000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 1375 \text{ mm}$$

$$T_n = \phi 0.33 \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33 \sqrt{f'c}}}$$

$$T_n = 0.65 \cdot 0.33 \sqrt{40} \left( \frac{360000^2}{1375} \right) \sqrt{1 + \frac{8002,81}{0.33 \sqrt{35}}}$$

$$T_n = 162162,5 \text{ KNm}$$

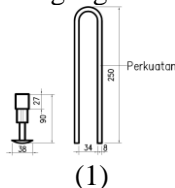
$$T_n > T_u$$

$$249605.77 \text{ KNm} > 0,19 \text{ KNm}$$

Maka tulangan torsi diabaikan.

#### 4.4.3.4 Pengangkatan Kolom Pracetak

Tulangan angkat yang digunakan adalah jenis *JENKA Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang digunakan adalah *JENKA BSA Short Insert* dengan kait *JL*. Di satu titik angkat profil ini dapat mengangkat beban sebesar 16 kN dengan sudut 0°-90°.

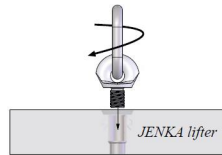


(1)

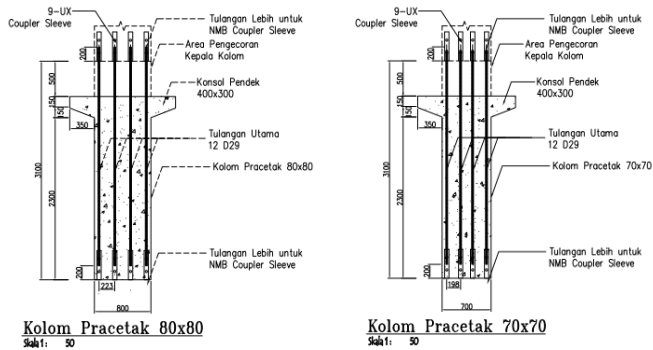


(2)

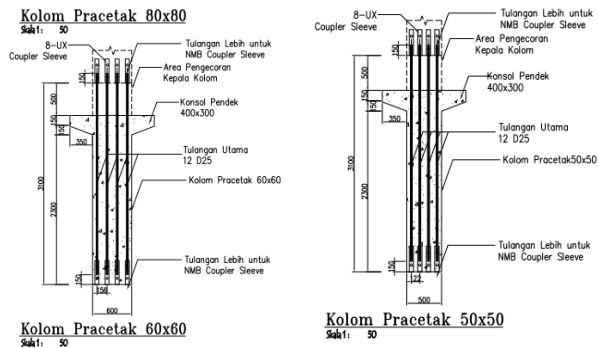
**Gambar 4.50** (1) Profil BSA dan Perkuatan (2) Profil Kait JL



**Gambar 4.51 JENKA Lifter**



**Gambar 4.52 Detail Kolom Pracetak K1 dan K2**



**Gambar 4.53 Detail Kolom Pracetak K3 dan K4**

#### 4.4.4 Perencanaan Dinding Geser (Shear Wall)

Seluruh dinding geser menahan 75% gaya gempa yang disalurkan ke struktur bangunan. Pada perencanaan Tugas Akhir ini menggunakan metode **cor setempat (case in situ)**. Perencanaan

dinding geser dibedakan menjadi Dinding Geser Arah X dan dinding Geser Arah Y.

#### 4.4.4.1 Dinding Geser Arah X

##### ➤ Data Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser yang akan direncanakan memiliki data sebagai berikut :

Tebal dinding	: 350 mm
Tebal decking	: 40 mm
Tulangan	: 29 mm
d'	: 260 mm
Mutu tulangan (fy)	: 390 MPa
Mutu beton (f'c)	: 35 Mpa
Tinggi lantai	: 3100 mm
Lebar dinding	: 4500 mm

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS didapat gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, yaitu :

Gaya aksial	: 12423,114 kN
Momen	: 2847496,4 kNm
Gaya geser	: 1977,40 KN

##### ➤ Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3, ketebalan dinding tidak boleh kurang dari :

1.  $\frac{1}{25}\lambda_c = \frac{1}{25}4500 = 180 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \quad \text{ok}$
2.  $190 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \quad \text{ok}$

Jadi, ketebalan *shear wall* 350 mm sudah memenuhi persyaratan.

##### ➤ Kontrol Dimensi Penampang terhadap Gaya Geser

Kontrol dimensi penampang dinding geser terhadap gaya geser, tidak boleh diambil melebihi  $0.83A_{cv}\sqrt{f'c}$

$$V_u < 0.83A_{cv}\sqrt{f'c}$$

$$1044,0256 \text{ KN} < 0.83(35 \times 450) \frac{\sqrt{35}}{10}$$

$$1044,0256 \text{ KN} < 7733,8 \text{ KN} \dots Ok$$

➤ **Penulangan Geser *Shear Wall***

Terdapat dua kondisi berdasarkan SNI-03-2847-2013 untuk menentukan jumlah lapisan tulangan pada dinding, yaitu :

- Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2 : bahwa sedikitnya harus dipasang dua lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi  $0.17 \times A_{vc} \times \sqrt{f'c}$   

$$Vu < 0.17 \times 35 \times 450 \times \frac{\sqrt{35}}{10}$$

$$1044,0256 \text{ KN} < 1584,0304 \text{ KN} \rightarrow 1 \text{ lapis tulangan}$$
- Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 14.3.4 : bahwa pada dinding yang mempunyai ketebalan lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan.  
 $350 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, penulangan pada dinding geser menggunakan dua lapis tulangan.

➤ **Penulangan Geser Vertikal dan Horizontal**

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser dinding struktural dikatakan mencukupi apabila dipenuhi kondisi berikut :

$$Vu < \phi Vn ; Vu = 1044,0256 \text{ kN}$$

$$Vn = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'c} + \rho_n f_y]$$

$$\frac{hw}{lw} = \frac{4,5}{3,1} = 1,45 < 2 ; \text{ maka digunakan } \alpha_c = 0.25$$

Dinding geser direncanakan dengan menggunakan tulangan geser 2 D29 ( $A_s = 1321,04 \text{ mm}^2$ ) dengan  $s = 200 \text{ mm}$  pada arah vertikal dan horizontal

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{1321,04}{2600 \times 200} = 0,00254$$

$$Vn = 350 \times 4500 [0.25\sqrt{35} + 0.0025405 \times 390]$$

$$= 3889934,6 \text{ N} = 3889,935 \text{ KN}$$

$$Vu < Vn$$

$$1044,0256 \text{ KN} < 3889,935 \text{ KN} \dots \text{Ok}$$

➤ **Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal**

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.4 : Rasio tulangan Vertikal ( $\rho_l$ ) tidak boleh kurang dari 0.0025
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.2 : Rasio tulangan horizontal ( $\rho_t$ ) tidak boleh kurang dari 0.0025

Dipakai tulangan vertikal dan horizontal 2Ø29 ( $A_s = 1321,04 \text{ mm}^2$ ) dengan rasio tulangan :

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{1321,04}{2600 \times 200} = 0,00254 > 0.0025$$

➤ **Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal**

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.1 : Spasi tulangan vertikal dan tulangan horizontal tidak boleh lebih dari 450 mm.  
S pakai = 200 mm > 450 mm.....OK
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.3 : Spasi tulangan Horizontal tidak boleh lebih dari :

$$s \leq \frac{L_w}{5} = \frac{4500}{5} = 900 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm.....OK

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.5 : Spasi tulangan vertikal tidak boleh lebih dari :

$$s \leq \frac{L_w}{3} = \frac{4500}{3} = 1500 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm.....OK

➤ **Kontrol Komponen Batas**

Komponen batas diperlukan apabila kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor yang bekerja pada shearwall lebih dari  $0.2f_c$ . SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.3

$$\frac{Mu}{W} + \frac{Pu}{Ac} > 0.2 f'c$$

$$\frac{9491,365 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 350 \times 4500^2} + \frac{12423,145 \times 10^3}{350 \times 4500} > 0.2 \times 35$$

$$15,92 \text{ MPa} > 7 \text{ MPa} \quad (\text{Butuh Komponen Batas})$$

$$c > \frac{lw}{600(\frac{\delta u}{hw})} \quad ; \quad \frac{\delta u}{hw} > 0.007$$

$$\frac{\delta u}{hw} = \frac{21,69}{60500} = 0.00036 < 0.007$$

$$\text{As total} = 29723.39349 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As} \times f_y}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{29723.39 \times 390}{0.85 \times 35 \times 450} = 865,89 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{865,89}{0.76} = 661,54 \text{ mm}$$

$$661,54 \text{ mm} > \frac{4500}{600(0.007)}$$

$$661,54 \text{ mm} < 1071,429 \text{ mm} \quad (\text{tidak butuh komponen batas}).$$

Berdasarkan 2 syarat diatas salaj satu syarat mengharuskan penggunaan komponen batas, maka berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, komponen batas harus dipasang secara horizontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang dari pada  $(c - 0.1lw)$  dan  $c/2$

$$C - 0.1 Lw = 661,54 - 0.1(4500) = 211,54 \text{ mm}$$

$$C/2 = 661,54/2 = 330,77 \text{ mm}$$

Jadi komponen batas harus dipasang minimal sejauh 330,77 mm, untuk memudahkan pemasangan komponen batas dipasang hingga 350 mm.

### ➤ **Penulangan pada Komponen Batas**

Digunakan tulangan transversal dengan diameter 29 mm untuk arah penulangan komponen batas

dimana  $s$  tidak boleh lebih besar dari:

$$- \frac{1}{4} h = \frac{1}{4} \times 310 = 87,5 \text{ mm}$$

$$- 6 \times d_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

$$- S_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$$

$$S_o = 100 + \left( \frac{350 - (0.5 \times (350 - 2 \times (40 + 29/2)))}{3} \right)$$

$$= 176,5 \text{ mm}$$

Dimana  $S_o$  tidak perlu lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 87,5 mm.

Diambil  $s = 150 \text{ mm}$

$$A_{sh} = \frac{0.09 \times s \times h_c \times f'_c}{f_y} = \frac{0.09 \times 100 \times 295,5 \times 35}{390} = 358 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 2kaki D16 - 150

$A_s = 402,123 \text{ mm}^2 > 358 \text{ mm}^2 \dots\dots \text{OK}$

#### 4.4.4.2 Dinding Geser Arah Y

##### ➤ Data Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser yang akan direncanakan memiliki data sebagai berikut :

Tebal dinding	: 35 cm
Tebal decking	: 40 mm
Tulangan	: 29 mm
$d'$	: 2600 mm
Mutu tulangan ( $f_y$ )	: 390 MPa
Mutu beton ( $f'_c$ )	: 35 Mpa
Tinggi lantai	: 310 cm
Lebar dinding	: 240 cm

Berdasarkan hasil perhitungan ETABS didapat gaya aksial dan momen yang bekerja pada kolom, yaitu :

Gaya aksial	: 6743,22 kN
Momen	: 793,57 kNm
Gaya geser	: 201,69 kN



➤ **Kontrol Ketebalan Minimum Dinding Geser**

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 14.5.3, ketebalan dinding tidak boleh kurang dari :

$$3. \quad \frac{1}{25} \lambda_c = \frac{1}{25} 2400 = 96 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

$$4. \quad 190 \text{ mm} < 350 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

Jadi, ketebalan *shear wall* 350 mm sudah memenuhi persyaratan.

➤ **Kontrol Dimensi Penampang terhadap Gaya Geser**

Kontrol dimensi penampang dinding geser terhadap gaya geser, tidak boleh diambil melebihi  $0.83 A_{cv} \sqrt{f'c}$

$$V_u < 0.83 A_{cv} \sqrt{f'c}$$

$$793,57 \text{ KN} < 0.83 (35 \times 240) \frac{\sqrt{35}}{10}$$

$$793,57 \text{ KN} < 4124,7 \text{ KN} \dots \text{OK}$$

➤ **Penulangan Geser *Shear Wall***

Terdapat dua kondisi berdasarkan SNI-03-2847-2013 untuk menentukan jumlah lapisan tulangan pada dinding, yaitu :

- a. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.9.2.2 : bahwa sedikitnya harus dipasang dua lapis tulangan pada dinding apabila gaya geser terfaktor melebihi  $0.17 \times A_{vc} \times \sqrt{f'c}$

$$V_u < 0.17 \times 35 \times 240 \times \frac{\sqrt{35}}{10}$$

$$793,57 \text{ KN} < 844,81 \text{ KN} \rightarrow 1 \text{ lapis tulangan}$$

- b. Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 14.3.4 : bahwa pada dinding yang mempunyai ketebalan lebih besar dari 250 mm, kecuali dinding ruang bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan.

$$350 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2013, penulangan pada dinding geser menggunakan dua lapis tulangan.

➤ **Penulangan Geser Vertikal dan Horizontal**

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser dinding struktural dikatakan mencukupi apabila dipenuhi kondisi berikut :

$$V_u < \phi V_n$$

$$V_n = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y]$$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{3,1}{2,4} = 1,29 < 2 ; \text{ maka digunakan } \alpha_c = 0.25$$

Dinding geser direncanakan dengan menggunakan tulangan geser 2 D29 ( $A_s = 1321,04 \text{ mm}^2$ ) dengan  $s = 200 \text{ mm}$  pada arah vertikal dan horizontal

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{1321,04}{2600 \times 200} = 0,00254$$

$$V_n = 350 \times 2400 [0.25\sqrt{35} + 0.00254 \times 390]$$

$$= 2074631,8 \text{ N} = 2074,632 \text{ KN}$$

$$V_u < V_n$$

$$201,69 \text{ KN} < 2074,632 \text{ KN} \dots \text{OK}$$

➤ **Kontrol Rasio Tulangan Vertikal dan Horizontal**

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.4 : Rasio tulangan Vertikal ( $\rho_l$ ) tidak boleh kurang dari 0.0025
- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.2 : Rasio tulangan horizontal ( $\rho_t$ ) tidak boleh kurang dari 0.0025

Dipakai tulangan vertikal dan horizontal 2 D29 ( $A_s = 1321,04 \text{ mm}^2$ ) dengan rasio tulangan :

$$\rho_n = \frac{A_s}{d' \times s} = \frac{1321,04}{2600 \times 200} = 0,0096 > 0.0025$$

➤ **Kontrol Spasi Tulangan Vertikal dan Horizontal**

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.9.1 : Spasi tulangan vertikal dan tulangan horizontal tidak boleh lebih dari 450 mm.

$S_{pakai} = 200 \text{ mm} > 450 \text{ mm} \dots \text{OK}$

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.3 : Spasi tulangan Horizontal tidak boleh lebih dari :

$$s \leq \frac{Lw}{5} = \frac{4500}{5} = 900 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm.....OK

- Menurut SNI 2847:2013 Pasal 11.9.9.5 : Spasi tulangan vertikal tidak boleh lebih dari :

$$s \leq \frac{Lw}{3} = \frac{4500}{3} = 1500 \text{ mm}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

S pakai = 200 mm.....OK

➤ **Kontrol Komponen Batas**

Komponen batas diperlukan apabila kombinasi momen dan gaya aksial terfaktor yang bekerja pada shearwall lebih dari  $0.2f'c$ . SNI 2847:2013 Pasal 21.9.6.3

$$\frac{Mu}{W} + \frac{Pu}{Ac} > 0.2 f'c$$

$$\frac{793,57 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 350 \times 2400^2} + \frac{6473,22 \times 10^3}{350 \times 2400} > 0.2 \times 39$$

$$10,38 \text{ MPa} > 7 \text{ MPa} \quad (\text{Butuh Komponen Batas})$$

$$c > \frac{lw}{600\left(\frac{\delta u}{hw}\right)} ; \frac{\delta u}{hw} > 0.007$$

$$\frac{\delta u}{hw} = \frac{21,69}{60500} = 0.00036 < 0.007$$

$$As \text{ total} = 15852,47 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b} = \frac{15852,47 \times 390}{0.85 \times 35 \times 240} = 856,89 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{856,89}{0.76} = 661,54 \text{ mm}$$

$$661,54 \text{ mm} > \frac{6000}{600(0.007)}$$

$$189,76 \text{ mm} > 571,42 \text{ mm} \quad (\text{butuh komponen batas}).$$

Berdasarkan 2 syarat diatas salaj satu syrat mengharuskan penggunaan komponen batas, maka berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4, komponen batas harus dipasang secara horizontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang dari pada  $(c - 0.1l_w)$  dan  $c/2$

$$C - 0.1 L_w = 661,54 - 0.1(2400) = 421,54 \text{ mm}$$

$$C/2 = 661,54/2 = 330,77 \text{ mm}$$

Jadi komponen batas harus dipasang minimal sejauh 330,77 mm, untuk memudahkan pemasangan komponen batas dipasang hingga 340 mm.

#### ➤ **Penulangan pada Komponen Batas**

Digunakan tulangan transversal dengan diameter 16 mm untuk arah penulangan komponen batas dimana  $s$  tidak boleh lebih besar dari:

$$- \frac{1}{4} h = \frac{1}{4} \times 310 = 87,5 \text{ mm}$$

$$- 6 \times d_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$$

$$- S_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$$

$$S_o = 100 + \left( \frac{350 - (0.5 \times (350 - 2 \times (40 + 29/2)))}{3} \right)$$

$$= 176,5 \text{ mm}$$

Dimana  $S_o$  tidak perlu lebih besar dari 176,5 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 87,5 mm. Diambil  $s = 150 \text{ mm}$









$$A_{xh} = \frac{0.09 \times s \times h_c \times f'c}{f_y} = \frac{0.09 \times 100 \times 295,5 \times 35}{390} = 358 \text{ mm}^2$$

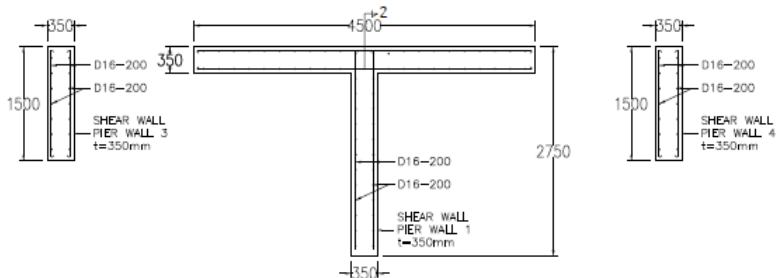
Dipakai sengkang 2kaki D16 - 150

$$A_s = 402,123 \text{ mm}^2 > 358 \text{ mm}^2$$

#### 4.4.4.3 Rekapitulasi Penulangan Kolom dan Shear Wall

Tabel 4.25 Rekap Penulangan Kolom

	K1		K2	
KONDISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI lossement s/d LANTAI 20				
PENAMPANG KOLOM	800 mm x 800 mm	800 mm x 800 mm	700 mm x 700 mm	700 mm x 700 mm
TULANGAN	12 D19	12 D19	12 D19	12 D19
BEGEL	D16 - 100	D16 - 150	D16 - 100	D16 - 150
	K3		K4	
KONDISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI lossement s/d LANTAI 20				
PENAMPANG KOLOM	600 mm x 600 mm	600 mm x 600 mm	500 mm x 500 mm	500 mm x 500 mm
TULANGAN	12 D25	12 D25	12 D25	12 D25
BEGEL	D16 - 100	D16 - 150	D16 - 100	D16 - 150



Gambar 4.54 Penulangan Shearwall

#### 4.4.5 Perencanaan Sambungan

##### 4.4.5.1 Umum

Sambungan berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya yang dipikul oleh elemen struktur ke elemen struktur yang lainnya. Gaya-gaya tersebut untuk selanjutnya diteruskan ke pondasi. Selain itu desain sambungan dibuat untuk menciptakan kestabilan. Suatu sambungan diharapkan dapat mentransfer beberapa gaya secara bersamaan.

Sambungan pada sistem pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Bagian ini berfungsi untuk meneruskan gaya antar setiap elemen pracetak yang disambung. Kelemahan konstruksi sistem pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau *monolit* sehingga lemah dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton *monolit*. Elemen pracetak dengan tuangan beton di atasnya (*in situ*), diharapkan sambungan elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur yang monolit. Gaya dapat disalurkan antara komponen struktur dengan menggunakan sambungan *grouting*, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat atau kombinasi dengan cara-cara tersebut. Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok pracetak, sambungan balok induk pracetak dengan dengan balok anak pracetak, sambungan balok pracetak dengan dengan kolom pracetak.

Sambungan basah relatif mudah dalam pelaksanaannya jika dibandingkan dengan sambungan kering (*non topping*) seperti *mechanical connection* dan *welding connection* yang cukup rumit. Untuk sambungan basah dalam daerah *joint*, diberikan tulangan yang dihitung berdasarkan panjang penyaluran dan sambungan lewatan. Selain itu juga dilakukan perhitungan geser friksi yaitu geser beton yang berbeda umurnya antara beton pracetak dengan beton *topping*. Di dalam pelaksanaan biasanya dipakai stud tulangan (*shear connector*) yang berfungsi sebagai penahan geser dan sebagai pengikat antara pelat pracetak dan pelat *topping* agar pelat bersifat secara monolit dalam satu kesatuan integritas struktur.

Dalam pelaksanaan konstruksi beton pracetak, sebuah sambungan yang baik selalu ditinjau dari segi praktis dan ekonomis. Selain itu perlu juga ditinjau *serviceability*, kekuatan, dan produksi. Faktor kekuatan khususnya harus dipenuhi oleh suatu sambungan karena sambungan harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan oleh beberapa macam beban. Beban-beban

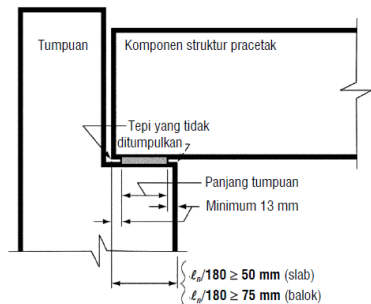
tersebut dapat berupa beban mati, beban hidup, beban gempa dan kombinasi dari beban-beban tersebut.

Sambungan antar elemen beton pracetak tersebut harus mempunyai cukup kekuatan, kekakuan dan dapat memberikan kebutuhan daktilitas yang disyaratkan. Baik sambungan cor setempat maupun sambungan *grouting* sudah banyak dipergunakan sebagai salah satu pemecahan masalah dalam mendesain konstruksi pracetak yang setara dengan konstruksi cor setempat ( *cast in situ* ).

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 16.6.2.2, adalah

- $D = 1/180 L_n$
- Untuk slab masif atau inti berongga (*hollow-core*) 50 mm
- Untuk balok atau komponen struktur bertangkai (*stemmed*) 75 mm

Di mana  $L_n$  = bentang bersih elemen pracetak



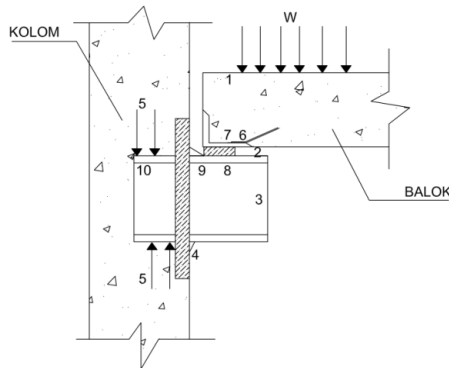
**Gambar 4.55** Panjang Penyaluran pada Tumpuan

#### 4.4.5.2 Konsep Desain Sambungan

##### ➤ Mekanisme Pemindahan Beban

Tujuan dari sambungan adalah memindahkan beban dari satu elemen pracetak ke elemen lainnya atau sebaliknya. Pada setiap sambungan, beban akan ditransfer melalui elemen sambungan dengan mekanisme yang bermacam-macam. Untuk menjelaskan mekanisme pemindahan beban, diambil contoh

seperti gambar 4.57 di mana pemindahan beban diteruskan ke kolom dengan melalui tahap sebagai berikut:



**Gambar 4.56** Mekanisme Pemindahan Beban

1. Beban diserap pelat dan ditransfer ke perletakan dengan kekuatan geser
2. Perletakan ke *haunch* melalui gaya tekan *pads*
3. *Haunch* menyerap gaya vertikal dari perletakan dengan kekuatan geser dan lentur dari profil baja.
4. Gaya geser vertikal dan lentur diteruskan ke pelat baja melalui titik las.
5. Kolom beton memberikan reaksi terhadap profil baja yang tertanam.

Mekanisme pemindahan gaya tarik akibat susut, dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Balok beton ke tulangan dengan lekatan / ikatan.
2. Tulangan baja siku di ujung balok diikat dengan las.
3. Baja siku di ujung balok ke *haunch* melalui gesekan di atas dan di bawah *bearing pads*. Sebagian gaya akibat perubahan volume dikurangi dengan adanya deformasi pada *pads*.
4. Sebagian kecil dari gaya akibat perubahan volume dipindahkan melalui las ke pelat baja.
5. Gaya tersebut ditahan oleh perletakan dan diteruskan oleh *stud* ke kolom beton melalui ikatan / lekatan.



➤ **Klasifikasi Sistem dan Sambungannya**

Sistem pracetak didefinisikan dalam dua kategori yaitu lokasi penyambungan dan jenis alat penyambungan :

**A. Lokasi Penyambungan**

Portal daktail dapat dibagi sesuai dengan letak penyambung dan lokasi yang diharapkan terjadi pelelehan atau tempat sendi daktailnya. Simbol-simbol di bawah ini digunakan untuk mengidentifikasi perilaku dan karakteristik pelaksanaannya.

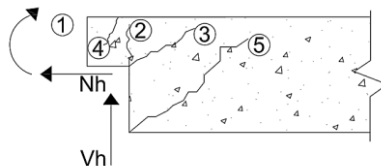
- *Strong*, sambungan elemen-elemen pracetak yang kuat dan tidak akan leleh akibat gempa-gempa yang besar.
- *Sendi*, sambungan elemen-elemen pracetak bila dilihat dari momen akibat beban lateral gempa dapat bersifat sebagai sendi.
- *Daktail*, sambungan elemen-elemen pracetak yang daktail dan berfungsi sebagai pemencar energi.
- Lokasi sendi plastis

**B. Jenis Alat Penyambung**

- *Shell pracetak* dengan bagian intinya di cor beton setempat
- *Cold joint* yang diberi tulangan biasa atau yang diberi tulangan pracetak parsial, di mana bagian *joint* di-*grout*.
- *Cold joint* yang diberi tulangan pracetak parsial, di mana bagian *joint* tidak di-*grout*.
- Sambungan-sambungan mekanik

➤ **Pola-Pola Kehancuran**

Sebagian perencanaan diharuskan untuk menguji masing masing pola-pola kehancuran. Pada dasarnya pola kehancuran kritis pada sambungan sederhana akan tampak nyata. Sebagai contoh pada kehancuran untuk sambungan sederhana dapat dilihat pada gambar 4.57

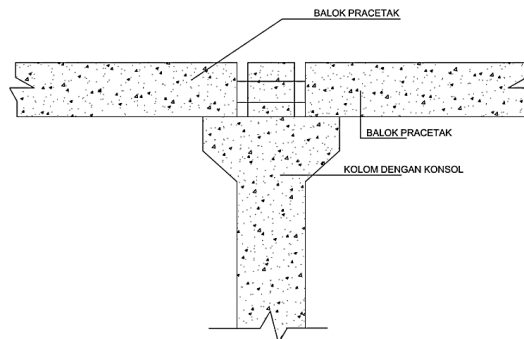


**Gambar 4.57** Model keruntuhan

*PCI Design Handbook* memberikan 5 pola kehancuran yang harus diselidiki pada waktu perencanaan *dapped-end* dari balok yaitu sebagai berikut

- 1) Lentur dan gaya tarik aksial pada ujung
- 2) Tarik diagonal yang berasal dari sudut ujung
- 3) Geser langsung antar tonjolan dengan bagian utama balok
- 4) Tarik diagonal pada ujung akhir
- 5) Perletakan pada ujung atau tonjolan

Pada tugas akhir ini direncanakan sistem balok pracetak yang mampu menumpu pada kolom pracetak dengan bantuan konsol pendek pada saat proses pencapaian penyambungan sebelum komposit sehingga mencapai kekuatan yang benar-benar monolit (menyatu dan berkesinambungan). Berikut disajikan permodelannya dalam gambar 4.58 berikut ini :



**Gambar 4.58** Model sambungan balok pada konsol kolom

#### 4.4.5.3 Penggunaan Topping Beton

Penggunaan *topping* beton komposit disebabkan karena berbagai pertimbangan. Tujuan utamanya adalah :

- 1) Untuk menjamin agar lantai beton pracetak dapat bekerja sebagai satu kesatuan diafragma horizontal yang cukup kaku.
- 2) Agar penyebaran atau distribusi beban hidup vertikal antar komponen pracetak lebih merata.

- 3) Meratakan permukaan beton karena adanya perbedaan penurunan atau *camber* mereduksi kebocoran air.

Tebal *topping* umumnya berkisar antara 40 mm sampai 100 mm. Pemindahan sepenuhnya gaya geser akibat beban lateral pada komponen struktur komposit tersebut akan bekerja dengan baik selama tegangan geser horizontal yang timbul tidak melampaui  $5,50 \text{ kg/cm}^2$ . Bila tegangan geser tersebut dilampaui, maka *topping* beton tidak boleh dianggap sebagai struktur komposit, melainkan harus dianggap sebagai beban mati yang bekerja pada komponen beton pracetak tersebut. Kebutuhan baja tulangan pada *topping* dalam menampung gaya geser horizontal tersebut dapat direncanakan dengan menggunakan geser friksi (*shear friction concept*).

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \geq A_{vf \text{ min}}$$

Di mana :

$A_{vf}$  = luas tulangan geser friksi

$V_n$  = geser nominal  $< 0,2 f_c A_c$  (Newton)  
 $< 5,5 A_c$  (Newton)

$A_c$  = luas penampang beton yang memikul penyaluran geser

$f_y$  = kuat leleh tulangan

$\mu$  = koefisien friksi (1)

$A_{vf \text{ min}} = 0,018 A_c$  untuk baja tulangan mutu  $f_y < 400 \text{ MPa}$

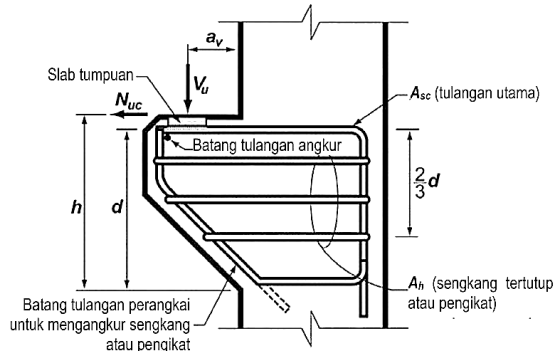
$= 0,018 \times 400/f_y$  untuk tulangan  $f_y > 400 \text{ MPa}$  diukur pada tegangan leleh 0,35% dalam segala hal tidak boleh kurang dari  $0,0014 A_c$

#### 4.4.5.4 Perencanaan Sambungan Balok Induk – Kolom

##### ➤ Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan

yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 4.59 berikut ini:



**Gambar 4.59** Geometrik konsol pendek

Ketentuan SNI 2847:2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi  $a_v/d$  tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor,  $N_{uc}$ , tidak lebih besar daripada  $V_u$ . Tinggi efektif  $d$  harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari  $0,5d$
3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan  $V_u$  suatu momen terfaktor  $V_{ua} + N_{uc}(h-d)$ , dan gaya tarik horizontal terfaktor,  $N_{uc}$ 
  - 1) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8,  $\phi$  harus diambil sama dengan 0,75
  - 2) Desain tulangan geser-friksi  $A_{vf}$  untuk menahan  $V_u$  harus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.6:
    - a) Untuk beton berat normal,  $V_n$  tidak boleh melebihi yang terkecil dari  $0,2 \times f'_c \times b_w \times d$ ,  $(3,3+0,08f'_c) b_w d$ , dan  $11 b_w d$ .

- b) Untuk beton ringan atau ringan pasir,  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari  $\left(0,2 - 0,07 \frac{a}{d}\right) f'_c b_w d$  dan  $\left(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}\right) b_w d$
  - c) Tulangan  $A_f$  untuk menahan terfaktor  $[V_u a_v + N_{uc}(h - d)]$  harus dihitung menurut SNI 2847:2013 pasal 10.2 dan pasal 10.3
  - d) Tulangan  $A_n$  untuk menahan gaya tarik terfaktor  $N_{uc}$  harus ditentukan dari  $\phi A_n f_y \geq N_{uc}$ . Gaya tarik terfaktor,  $N_{uc}$  tidak boleh diambil kurang dari  $0,2V_u$  kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya tarik.  $N_{uc}$  harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkai, susut, atau perubahan suhu.
  - e) Luas tulangan Tarik utama  $A_{sc}$  tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari  $(A_f + A_n)$  dan  $\left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n\right)$
4. Luas total  $A_h$ , sengkang tertutup atau pengikat paralel terhadap tulangan tarik utama tidak boleh kurang dari  $0,5(A_{sc} - A_n)$ , Distribusikan  $A_h$  secara merata dalam  $(2/3)d$  bersebelahan dengan tulangan tarik utama
  5.  $\frac{A_{sc}}{bd}$  tidak boleh kurang dari  $0,04 \frac{f_{tc}}{f_y}$
  6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama  $A_s$  harus diangkur dengan salah satu dari berikut :
    - 1) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama; las didesain untuk mengembangkan  $f_y$  tulangan tarik utama;
    - 2) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal; atau
    - 3) Dengan suatu cara pengangkurkan baik lainnya
  7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama  $A_s$ , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan).

➤ **Perhitungan Konsol pada Kolom**

**a) Data Perencanaan**

$V_u = 363,800 \text{ kN}$  (ETABS 16)

$N_{uc} = 124,08 \text{ kN}$  (ETABS 16)

Dimensi Balok = 50/75

Dimensi konsol :

Lebar konsol (b) = 400 mm

Tinggi konsol (h) = 300 mm

$d' = 300 - 40 - 25/2 = 247,5 \text{ mm}$

$f_c' = 35 \text{ MPa}$

$f_y = 390 \text{ MPa}$

$a = 100 \text{ mm}$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847 2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a/d = 100 / 294,5 = 0,3395 < 1 \dots \text{OK}$

- $N_{uc} \leq V_u$

$$N_{uc} = 0,2 \times 363800 = 72760 \text{ N} \leq 363,800 \text{ kN} \dots \text{OK}$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser  $V_n$  untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{363,800}{0,75} = 485,066 \text{ kN} = 485066,6 \text{ N}$$

**b) Luas Pelat Landasan**

$$V_u = \emptyset \times (0,85) \times f_c \times A_l$$

$$A_l = \frac{363800}{0,85 \times 35 \times 0,75} = 16304,76 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan  $300 \times 100 \text{ mm}^2 = 60000 \text{ mm}^2$   
(tebal 15 mm)

**c) Menentukan Luas Tulangan Geser Friksi**

Sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada :

$$\begin{aligned} 0,2 f_c' \times b_w \times d &= 0,2 \times 35 \times 400 \times 247,5 \\ &= 693000 \text{ N} > V_n = 485066,6 \text{ N} \dots \text{OK} \\ 11 b_w d &= 11 \times 400 \times 247,5 \\ &= 1089000 \text{ N} > V_n = 485066,6 \text{ N} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} = \frac{485066,667}{390 \times 1,4} = 888,4 \text{ mm}^2$$

**d) Luas Tulangan Lentur**

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4, akan digunakan  $N_{uc}$  minimum.

$$\begin{aligned} Mu &= V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\ &= (363800 \times 100) + (72760 \times (300-247,5)) \\ &= 42.894.410 \text{ Nmm} = 42,894 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$A_{vf1} = \frac{Mu}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$A_{vf1} = \frac{42894410}{0,85 \times 0,75 \times 390 \times 247,5} = 697 \text{ mm}^2$$

$$A_{vf2} = \frac{V_n}{\mu \times f_y} = \frac{485066,667}{1,4 \times 390} = 888,4 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai  $A_{vf} = 888,4 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok  $A_s$  :

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \times f_y} = \frac{124084}{0,75 \times 390} = 424,21 \text{ mm}^2$$

### e) Pemilihan Tulangan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.5

$$A_s = A_f + A_n = 697 + 424,21 = 1121,29 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \left( \frac{2 \times A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left( \frac{2 \times 888,9}{3} \right) + 424,21 = 1016,48 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.5

$$A_{s_{\min}} = 0,04 \left( \frac{f_c'}{f_y} \right) b \times d = 0,04 \left( \frac{35}{390} \right) 350 \times 297,5 = 373,78 \text{ mm}^2$$

$A_s = 1016,48 \text{ mm}^2$  menentukan

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$\begin{aligned} A_h &= 0,5 (A_s - A_n) \\ &= 0,5 (1121,29 - 424,21) = 348,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Dipakai **tulangan As 3D25** ( $A_{s_{\text{total}}} = 1472,62 \text{ mm}^2$ ) >  $A_{s_{\text{perlu}}} = 1016,48 \text{ mm}^2$ .... OK
  - Dipasang **tulangan Ah 2D16** ( $A_{h_{\text{total}}} = 402,12 \text{ mm}^2$ ) >  $A_{h_{\text{perlu}}} = 296,13 \text{ mm}^2$ .... OK.
- Dipasang sepanjang  $(2/3)d = 2/3 \times 247,5 = 165 \text{ mm}$

### ➤ Rekap Konsol Pendek

**Tabel 4.26** Rekapitulasi Perhitungan Konsol Pendek pada Kolom

Sambungan	Vu (kN)	Nu (kN)	Ukuran		Øs (mm)	Øh (mm)	Horizontal			Senggang		
			b (mm)	h (mm)			As (mm <sup>2</sup> ) perlu	As (mm <sup>2</sup> ) pakai	n (buah)	Ah (mm <sup>2</sup> ) perlu	Ah (mm <sup>2</sup> ) pakai	n (buah)
Kolom - BI	363,80	124,08	400	300	25	16	1121,30	1472,6	3	348,54	402,12	2

### ➤ Perhitungan Sambungan Balok – Kolom

Sistem sambungan antara balok dengan kolom pada perencanaan memanfaatkan panjang penyaluran dengan tulangan balok, terutama tulangan pada bagian bawah yang nantinya akan dijangkarkan atau dikaitkan ke atas.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan.



$$\begin{aligned}
 db &= 25 \text{ mm} \\
 As \text{ perlu} &= 3661,87 \text{ mm}^2 \\
 As \text{ terpasang} &= 3963,119 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

**a) Panjang Penyaluran Tulangan Deform dalam Tekan**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\
 &\geq (0,24 \times 390/1\sqrt{35})25 \\
 &\geq 419,25 \text{ mm} \\
 l_{dc} &\geq (0,043fy)db \\
 &\geq (0,043 \times 390)25 \\
 &\geq 419,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

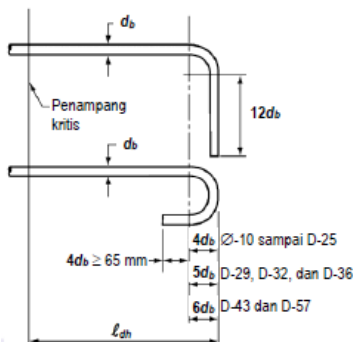
Maka dipakai  $l_d = 419,25 \approx 420 \text{ mm}$ .

**b) Panjang Penyaluran Kait Standar dalam Tarik**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1, maka :

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
- $l_{dh} = (0,24\psi_e f_y / \lambda \sqrt{f'c}) d_b$   
 $= (0,24 \times 1 \times 390 / 1 \times \sqrt{35}) \times 25 = 395,53 \text{ mm}$

Maka dipakai  $l_{dh} = 400 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar  $90^\circ$  sebesar  $12 d_b = 12 \times 25 = 300 \text{ mm}$ .



**Gambar 4.60** Detail batang tulangan dengan kait standar

Pada proses penyambungan antara kolom dan balok induk dilakukan overtopping atau cor setempat (in situ) dengan panjang penyaluran yang masuk ke area kolom lalu dilakukan pengecoran kolom tersebut sampai setinggi balok. Adapun pada pengecoran tersebut dilakukan bersamaan dengan penyambungan *overtopping* dan balok.

#### 4.4.5.5 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

##### ➤ Perhitungan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

Sistem sambungan antara balok induk dengan balok anak pada perencanaan ini menggunakan mekanisme konsol dan untuk penyambungannya digunakan metode coupler dari produk NMB Splice Coupler lalu dilakukan *inject grouting*.

Panjang penyaluran diasumsikan menerima tekan dan juga menerima tarik, sehingga dalam perencanaan dihitung dalam dua kondisi, yaitu kondisi tarik dan kondisi tekan. Contoh diambil pada pertemuan antara Balok Anak 40/60 dan Balok Induk 50/75.

$$\begin{aligned} db &= 16 \text{ mm} \\ As \text{ perlu} &= 586,67 \text{ mm}^2 \\ As \text{ terpasang} &= 603,185 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

##### a) Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$\begin{aligned} l_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\ &\geq (0,24 \times 390/1\sqrt{35})16 \\ &\geq 253,14 \text{ mm} \\ l_{dc} &\geq (0,043fy)db \\ &\geq (0,043 \times 390)16 \\ &\geq 253,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai  $l_d = 253,14 \approx 260 \text{ mm}$ .

##### b) Panjang Penyaluran Kait Standar dalam Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5.1, maka :

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400}$$

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

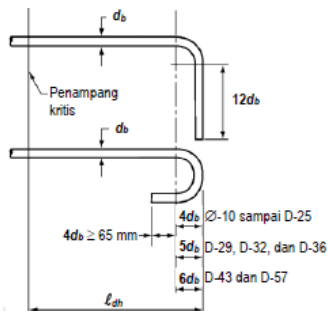
Didapat :

$$l_{hb} = 100 \times \frac{db}{\sqrt{f'c}} = 100 \times \frac{16}{\sqrt{35}} = 270,449 \text{ mm}$$

$$l_{dh} \geq 8 \times 16 = 128 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = l_{hb} \frac{f_y}{400} = 270,449 \times \frac{390}{400} = 263,68 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm (OK)}$$

Maka dipakai  $l_{dh} = 263,68 \approx 270 \text{ mm}$  dengan bengkokan minimum panjang penyaluran yang masuk kedalam kolom dengan panjang kait standar  $90^\circ$  sebesar  $12 d_b = 192 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$

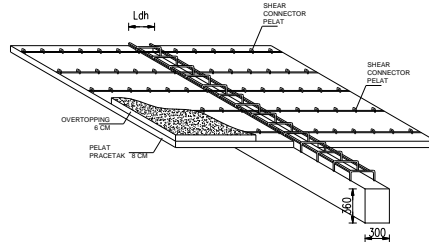


**Gambar 4.61** Detail batang tulangan dengan kait standar

Pada proses penyambungan antara balok anak dan balok induk digunakan coupler untuk keperluan *inject grouting* yang didapat dari produk **NMB Splice Sleeve**.

#### 4.4.5.6 Perencanaan Sambungan Pelat Pracetak dan Balok Pracetak

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintang tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi *overtopping* dengan cor setempat. Proses *overtopping* tersebut dilakukan bersamaan dengan proses penyambungan *overtopping* balok pracetak (sambungan balok induk dan kolom pracetak). Dapat disimpulkan bahwa semua proses penyambungan *overtopping* pada masing-masing komponen pracetak dapat dilakukan dalam waktu bersamaan.



**Gambar 4.62** Panjang Penyaluran Pelat

##### ➤ Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Type A

Berdasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type A (PL A) sebagai berikut :

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

Tulangan utama	– As perlu	: 315,07 mm <sup>2</sup>
	As terpasang	: 392,699 mm <sup>2</sup>
Tulangan bagi	– As perlu	: 63 mm <sup>2</sup>
	As terpasang	: 235,61 mm <sup>2</sup>

##### a) Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik  
 $\ell_d \geq 300 \text{ mm}$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

$\alpha$  : faktor lokasi penulangan = 1

$\beta$  : faktor pelapis = 1

$\lambda$  : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{10} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{35}}$$

$$\ell_d = 316,42 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai  $\ell_d = 320 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 2847:2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y = 0,043 \times 10 \times 390 = 167,7 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{10 \times 320}{4 \times \sqrt{35}} = 164,8 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 164,8 \times \frac{315,07}{392,699} = 134,55 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 200 \text{ mm}$

b) Penyaluran Tulangan Bagi

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{12 f_y \alpha \beta \lambda}{25 \sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha \beta \leq 1,7 \dots \text{SNI 03 - 2847 - 2013 Pasal 12.2.4}$$

Dengan :

$\alpha$  : faktor lokasi penulangan = 1

$\beta$  : faktor pelapis = 1

$\lambda$  : faktor beton normal = 1

$$\frac{\ell_d}{10} = \frac{12 \times 390 \times 1 \times 1 \times 1}{25 \sqrt{35}}$$

$$\ell_d = 316,42 \text{ mm (OK)}$$

Dipakai  $\ell_d = 320 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d = \ell_{db} \frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}}$$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 390 = 167,7 \text{ mm}$$

$$\ell_{db} = \frac{d_b \times f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} = \frac{10 \times 390}{4 \times \sqrt{35}} = 164,8 \text{ mm}$$

$$\ell_d = 164,8 \times \frac{63}{235,61} = 167,7 \text{ mm}$$

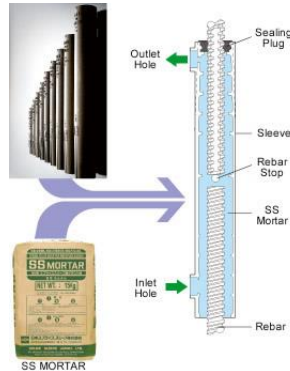
Dipakai  $\ell_d = 200 \text{ mm}$

#### 4.4.5.7 Perencanaan Sambungan antar Kolom Pracetak

##### ➤ Penyaluran Tulangan

Pada penggunaan metode NMB Splice Sleeve ini tidak diperlukan perhitungan panjang penyaluran untuk proses penyambungannya. Hal ini dikarenakan, tulangan antar kolom

yang dilakukan penyambungan dengan coupler dianggap sudah monolit dan menerus. Untuk ilustrasi mengenai penyaluran antar tulangan kolom pracetak tersebut dapat dilihat pada gambar 4.63 berikut:

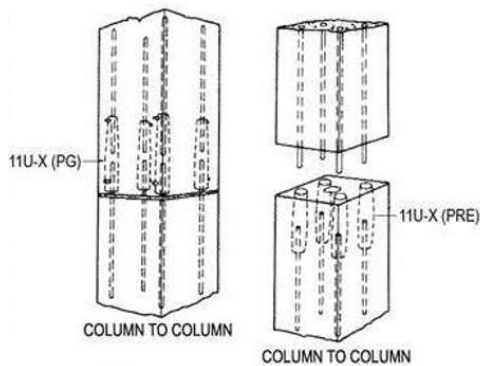


**Gambar 4.63** Ilustrasi Pertemuan antar Tulangan Kolom Pracetak pada Pambungan Coupler Sleeve NMB

#### ➤ **Mekanisme Penyambungan**

Pada proses penyambungan antar kolom dilakukan proses grouting pada bagian panjang penyalurannya yang juga menggunakan *coupler*. Untuk itu, pada bagian kolom tersebut diberi lubang sebagai tempat meletaknya coupler yang berguna untuk melakukan proses grouting tersebut. Lubang grouting dilakukan pada sisi-sisi kolom tersebut yang telah ditetapkan lubang coupler untuk menuju aliran panjang penyaluran.

Pada penyambungan antar kolom dengan dimensi berbeda pada dasarnya sama seperti pada proses penyambungan antar kolom dengan dimensi sama, hanya saja pada tulangan panjang penyaluran pada kondisi ini lebih dilakukan penyesuaian terhadap lubang kolom yg berada di atasnya. Untuk metode penyambungannya di sini penulis menggunakan referensi dari produk *couple for splicing reinforcing bar* dari **NMB Splice Sleeve**.



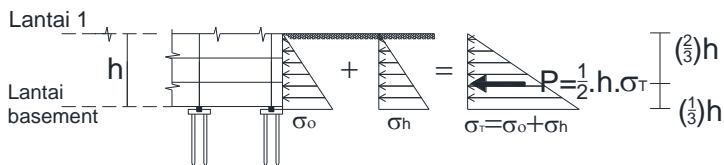
**Gambar 4.64** Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak Menggunakan *Coupler* dari Produk NMB Splice Sleeve

## 4.5 Perencanaan *Basement*

### 4.5.1 Umum

Perencanaan Basement menggunakan dinding geser yang juga difungsikan sebagai penahan tanah. Tinggi *basement* yang direncanakan memiliki tinggi 4,1 m dengan masing-masing 1,1 m dan 3 m ketinggiannya.

### 4.5.2 Penulangan Dinding *Basement*



**Gambar 4.65** Diagram tegangan yang terjadi pada dinding basement

Data perencanaan basement adalah sebagai berikut :

Mutu beton ( $f'_c$ )	= 35 Mpa
Mutu Baja ( $f_y$ )	= 390 Mpa
Tebal dinding basement ( $t$ )	= 25 cm
Diameter Tulangan	= 22 mm



Tinggi Dinding besment = 4,1 m

Panjang besmen = 6 m

Tebal selimut beton = 40 mm

$$d = t - \text{decking} - 1/2 D - D \\ = 250 - 40 - 11 - 22 = 177 \text{ mm}$$

Hasil analisa ETABS 16, didapatkan  $M_u \text{ max} = 627327021 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{627327021}{0,8} = 7841586776,3 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d x^2} = \frac{7841586776,3}{6000 \times 177^2} = 4,1 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{390}{0,85 \times 35} = 13,1$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{13,1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,1 \times 4,1}{390}} \right) = 0,011 \quad (\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,011 \times 177 \times 6000 = 12061,94 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{12061,94}{379,94} = 31,74 \text{ buah} \approx 32 \text{ buah}$$

$$S_{\max} = \frac{6000 - 2 \times 40}{32 - 1} = 207 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 32 \times 379,94 = 12158,08 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan **32 D22mm ( $A_s$  pakai 12158,08 mm<sup>2</sup>)** dengan jarak 200 mm

➤ **Kontrol ketebalan minimum dinding basement**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 15.5.3.2 yang menyatakan bahwa tebal dinding *basement* eksterior dan dinding pondasi tidak boleh kurang dari 190 mm.  
Dinding basement yang dipakai 250 mm.

➤ **Kontrol Rasio Tulangan**

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 14.3.3 menyatakan bahwa Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto,  $\rho_t$ , harus 0,0020 untuk bentang ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  tidak kurang dari 420 Mpa  
 $\rho_t = 83 = 0,0064 > 0,0020$  (OK)

#### 4.5.3 Penulangan Lantai Parkir *Basement*

➤ **Plat Lantai**

Perhitungan pelat A basement dengan dimensi 3000 mm x 6000 mm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya. Untuk pelat lantai basement tidak menggunakan beton *precast* melainkan menggunakan beton *cor in situ*. Beban-beban untuk Perkantoran berdasarkan **SNI 03-1727-2012**.

Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu sama dengan permukaan tanah

$$D_f = 4,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1,85 \text{ t/m}^3$$

$$t = 0,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_h &= \text{tekanan hidrostatik oleh air tanah} \\ &= \gamma_w \times \text{volume basement} = 1,85 \times (D_f + t) \\ &= 1,85 \times (4,1 + 0,25) = 8047,5 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

Beban pelat basement ( $q_d = 4900 \text{ kg/m}^2$ )

Kombinasi beban pelat

$$1,4q_d = 1,4 \times 4900 = 6860 \text{ kgm}$$

$$d_x = 400 - 40 - \frac{1}{2} 22 = 349 \text{ mm}$$

$$d_y = 400 - 40 - 22 - \frac{1}{2} 22 = 327 \text{ mm}$$

➤ **Perhitungan penulangan tumpuan arah X**

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{6000}{3000} = 2 < 2 \text{ (pelat dua arah)}$$

$$\begin{aligned} \text{Mulx}^{(+)} &= \text{Mutx}^{(-)} \\ &= 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \times \rightarrow x = 83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mulx}^{(+)} &= \text{Mutx}^{(-)} \\ &= 0,001 \times 6860 \times 3^2 \times 83 = 5124,42 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{\phi} = \frac{51244200}{0,8} = 64055250 \text{ Nmm}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{b d x^2} = \frac{64055250}{3000 \times 349^2} = 0,17 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times \text{Rn}}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,1 \times 0,17}{390}} \right) \\ &= 0,00022 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}, \text{ maka pakai } \rho_{\min} = 0,0036$$

$$\text{As}_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0036 \times 349 \times 6000 = 7516,9 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$\text{As} = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{7516,94}{379,94} = 19,8 \text{ buah} \approx 20 \text{ buah}$$

$$\text{S}_{\max} = \frac{3000 - 2 \times 40}{20 - 1} = 153,68 \text{ mm}$$

$$\text{As pakai} = 26 \times 379,94 = 9878,44 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan lentur **20 D22 mm (As pakai 7598,8 mm<sup>2</sup>)** dengan jarak 150 mm.

➤ **Perhitungan penulangan tumpuan arah Y**

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{780}{780} = 1 < 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$\begin{aligned} M_{ly}^{(+)} &= M_{ly}^{(-)} \\ &= 0,001 \text{ Qu } L_y^2 \text{ y} \rightarrow y = 57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly}^{(+)} &= M_{ly}^{(-)} \\ &= 0,001 \times 6860 \times 6^2 \times 57 = 14076,72 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{140767200}{0,8} = 175959000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d x^2} = \frac{175959000}{6000 \times 327} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,1} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,1 \times 0,27}{390}} \right) = 0,0007 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,0036 \times 327 \times 6000 = 7043 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai tulangan D22 mm,

$$A_s = 0,25 \times 3,14 \times 22^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tulangan} = \frac{7043}{379,94} = 18,53 \text{ buah} \approx 19 \text{ buah}$$

$$S_{\max} = \frac{7800 - 2 \times 40}{25 - 1} = 328 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = 25 \times 379,94 = 7218,86 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan lentur **19D22 mm** ( **$A_s$  pakai 7218,86 mm<sup>2</sup>**) dengan jarak 300 mm

## 4.6 Perencanaan Pondasi

### 4.6.1 Umum

Perencanaan pondasi merupakan perencanaan struktur bawah bangunan. Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *pencil pile shoe* produk dari PT. WIKA (Wijaya Karya) Beton. Pada bab perencanaan pondasi pembahasan meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan dan perencanaan poer (pile cap).

### 4.6.2 Beban Struktur

Beban struktur menentukan bagaimana perencanaan pondasi yang akan dilakukan. beban struktur disalurkan melalui kolom kemudian ke tiang pancang. Beban yang bekerja pada pondasi dihitung menurut SNI 1726:2012 kombinasi beban untuk metoda tegangan ijin. Kombinasi beban-beban dibawah ini adalah kombinasi beban untuk menghitung tiang pancang dengan desain tegangan ijin.

- 1D
- $D + L$
- $D + 0,75L$
- $D + 0,7E$
- $D + 0,75L + 0,75(0,7E)$
- $0,6D + 0,7E$

Dari kombinasi beban di atas dilakukan control dari masing-masing kombinasi untuk menentukan perhitungan jumlah tiang pancang, defleksi dan momen yang terjadi pada reaksi perletakan.

Output dari joint reaction ini kemudian dipilih sesuai kombinasi maksimum yang paling menentukan dalam perhitungan  $P_{ijin}$  1 tiang. Berikut ini adalah output dari joint reaction pada pondasi.

**Tabel 4.27** Beban Pada Satu Kolom Saat Service

KOLOM 80x80 Area Basement				
Tinjauan Kolom Berdasarkan				
	Pu Terbesar	Vu Terbesar	Mu Terbesar	
Pu	-10172.3471	-7749.1774	-7749.1774	kN
Vux	44.0878	-19.8021	-15.3196	kN
Vuy	15.0259	-120.3608	-114.9629	kN
Mux	17.81769	-105.40437	-298.41314	kNm
Muy	57.15615	-32.43823	-53.78033	kNm

### 4.6.3 Kriteria Design

#### 4.6.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* Produk dari PT. Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang K-600 (*concrete cube compressive strength is 600 kg/cm<sup>2</sup> at 28 days*).

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- *Outside Diameter (D)* : 600 mm
- *Wall Thickness* : 100 mm
- *Class* : A1
- *Concrete Cross Section* : 1570,80 cm<sup>2</sup>
- *Unit Weight* : 393 kg/m
- *Length* : 6-15 m
- *Bending momen crack* : 10,50 tm
- *Bending momen ultimate* : 15,75 tm
- *Allowable axial Load* : 252,7 ton

#### 4.6.3.2 Data Tanah

Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut.

Data tanah didapatkan melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi adalah data tanah dari Kontraktor PP pada proyek Grand Kamala Lagoon.

#### 4.6.3.3 Daya Dukung

##### ➤ Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Perhitungan daya dukung tanah pada Tugas Akhir ini menggunakan metode Luciano Decourt sebagai berikut:

**Tabel 4.28** Data Tanah SPT dan Nilai N Koreksi (N')

Keterangan	Kedalaman (m)	Tebal (m)	N	N' (koreksi)
Lapisan 1	0	0	0	0
Lapisan 2	2	2	11	11
Lapisan 3	6	4	7	7
Lapisan 4	8	2	10	10
Lapisan 5	10.5	2.5	11	11
Lapisan 6	14	3.5	35	25
Lapisan 7	16	2	50	32.5
Lapisan 8	18.5	2.5	50	32.5
Lapisan 9	20	1.5	50	32.5
Lapisan 10	28	8	38	26.5
Lapisan 11	30	2	50	32.5
Lapisan 12	32	2	38	26.5
Lapisan 13	34	2	50	32.5
Lapisan 14	36	2	50	32.5
Lapisan 15	38	2	50	32.5
Lapisan 16	40	2	41	28

Direncanakan menggunakan diameter tiang sebesar **60cm** dan kedalaman **28 m** sesuai perhitungan daya dukung tanah dan tiang yang tersedia.

**Tabel 4.29** Penentuan Kedalaman Tiang Pancang

Keterangan	Kedalaman (m)	Tebal (m)	N	N' (koreksi)	Np	$\alpha$	K (t/m <sup>2</sup> )	Qp (ton)	Ns	$\beta$	qs (t/m <sup>2</sup> )	As (m <sup>2</sup> )	Qs (ton)	Qu (ton)	Qu/SF (ton)
Lapisan 1	0	0	0	0	3,66667	1	12	12,44071	0	1	1	0	0	12,44071	4,976283
Lapisan 2	2	2	11	11	6	1	12	20,35752	11	1	4,66667	3,769911	17,59292	37,95044	15,18018
Lapisan 3	6	4	7	7	9,333333	1	12	31,66725	9	1	4	11,30973	45,23893	76,90619	30,76248
Lapisan 4	8	2	10	10	9,333333	1	12	31,66725	9	1	4	15,07964	60,31858	91,98583	36,79433
Lapisan 5	10,5	2,5	11	11	15,33333	1	12	52,02477	9,66667	1	4,222222	19,79203	83,56636	135,5911	54,23646
Lapisan 6	14	3,5	35	25	22,83333	1	20	129,1195	13,5	1	5,5	26,38938	145,1416	274,261	109,7044
Lapisan 7	16	2	50	32,5	30	1	20	169,646	17,3	1	6,76667	30,15929	204,0779	373,7239	149,4895
Lapisan 8	18,5	2,5	50	32,5	32,5	1	25	229,729	19,83333	1	7,611111	34,87168	265,4122	495,1412	198,0565
Lapisan 9	20	1,5	50	32,5	30,5	1	20	172,4734	26,7	1	9,9	37,69911	273,2212	545,8946	218,2779
Lapisan 10	28	8	38	26,5	30,5	1	20	172,4734	26,6667	1	9,888889	52,77876	521,9233	694,3967	277,7587
Lapisan 11	30	2	50	32,5	28,5	1	20	161,1637	27,5	1	10,16667	56,54867	574,9115	736,0752	294,4301
Lapisan 12	32	2	38	26,5	30,5	1	40	344,9469	27,375	1	10,125	60,31858	610,7256	955,6725	382,269
Lapisan 13	34	2	50	32,5	30,5	1	20	172,4734	27,94444	1	10,31481	64,08849	661,0609	833,5343	333,4137
Lapisan 14	36	2	50	32,5	32,5	1	25	229,729	28,4	1	10,46667	67,8584	710,2513	939,9802	375,9921
Lapisan 15	38	2	50	32,5	31	1	20	175,3009	28,77273	1	10,59091	71,62831	758,6089	933,9098	373,5639
Lapisan 16	40	2	41	28	30,25	1	20	171,0597	28,70833	1	10,56944	75,39822	796,9173	967,9771	387,1908

$$A_{ujung} = 0,25 \times \pi \times 60^2 = 2827,433 \text{ cm}^2$$

Keliling tiang

$$= \pi \times 60 = 188,49 \text{ cm}^2$$

$$N_p = (32,5 + 26,5 + 32,5) / 3 = 30,5$$

$$\alpha = 1 \text{ (driven pile)}$$

$$K = 20 \text{ t/m}^2$$

$$N_s = (11 + 25 + 32,5 + 32,5 + 32,5 + 26,5) / 6 = 26,57$$

$$\beta = 1 \text{ (driven pile)}$$

$$q_s = \beta x \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) = 1 x \left( \frac{26,67}{3} + 1 \right) = 9,88 \text{ t/m}^2$$

$$A_s = \text{keliling tiang} \times \text{kedalaman tiang}$$

$$= 188,49 / 100 \times 28 = 52,77 \text{ m}^2$$

$$Q_p = \alpha \times N_p \times K \times A_{ujung}$$

$$= 1 \times 30,5 \times 20 \times 2827,433 \times 10^{-4} = 172,47 \text{ ton}$$

$$Q_s = q_s \times A_s = 9,88 \times 52,77 = 521,9233 \text{ ton}$$

$$Q_l = Q_p + Q_s = 172,47 + 521,9233 = 694,39 \text{ ton}$$

**Safety factor = 2,5**, sehingga  $P_{ijin}$  1 tiang berdasarkan daya dukung tanah adalah:

$$SF = \frac{Q_l}{SF} = \frac{694,39}{2,5} = 277,75 \text{ ton}$$

$P_{ijin}$  1 tiang pancang yang paling kritis antara daya dukung tanah dengan *allowable axial load* dari spesifikasi = 252,7 ton.

$$P_{ijin} \text{ 1 tiang} = 252,7 \text{ ton.}$$

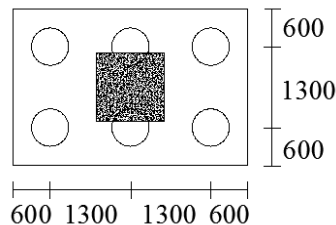


➤ **Daya Dukung Tiang dalam Pile Group**

Tiang pancang dalam grup disatukan dengan menggunakan *pilecap* (kepala tiang) di atasnya. Pada tugas Akhir ini ada 2 tipe *pilecap* (kepala tiang) dengan konfigurasi tiang pancang yang berbeda. Pada tipe *pilecap* pertama dihitung berdasarkan kebutuhan 1 kolom. Sedangkan untuk tipe *pilecap* yang kedua dihitung berdasarkan kebutuhan area dinding geser (*shearwall*). Berikut adalah contoh perhitungan untuk *pilecap* tipe 1.

Direncanakan *pilecap* persegi panjang dua arah dengan data seperti berikut:

- Dimensi = 380 x 250 cm
- Jumlah tiang pancang = 6 buah
- Jumlah baris tiang (m) = 2 tiang
- Jumlah kolom tiang (n) = 3 tiang
- Jarak antar tiang pancang (S),  
 $S = 2D \leq S \leq 3D$   
 $= 120 \text{ cm} \leq S \leq 180 \text{ cm}$ , dipakai  $S = 130 \text{ cm}$
- Jarak tiang pancang ke tepi *pilecap*  
 $S_1 = S_2 \geq D = S_1 \geq 60 \text{ cm}$ , dipakai  $S_1 = 60 \text{ cm}$



**Gambar 4.66** Konfigurasi Tiang Pancang pada *Pilecap* Tipe 1

Untuk daya dukung tiang kelompok harus dikoreksi dengan koefisien ( $C_e$ ). Menurut Converse-Labarre,  $C_e$  dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(\theta/S)}{90} \times \left( 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right)$$

$$C_e = 1 - \frac{\arctan(60/130)}{90} \times \left( 2 - \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right) = 0,6788$$

$$P_{ijin \text{ grup}} = C_e \times P_{ijin \text{ 1 tiang}} = 0,6788 \times 252,7 = 171,54 \text{ ton}$$

➤ **Repartisi Beban-beban di Atas Tiang Kelompok**

Apabila di atas tiang-tiang dalam kelompok yang disatukan oleh kepala tiang (*pilecap*) berlaku beban-beban vertical, horizontal, dan momen. Maka besarnya beban vertical ekuivalen ( $P_v$ ) yang bekerja pada sebuah tiang dihitung sebagai berikut:

Beban-beban maksimum yang terjadi pada pilecap tipe 1 terdiri dari beberapa kondisi diantaranya pada kondisi yang terdapat  $M_u \text{ max}$ ,  $V_u \text{ max}$  dan  $P_u \text{ max}$  seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.30.

**Tabel 4.30** Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom untuk Pondasi

Keterangan	1 = $P_u >$	2 = $V_u >$	3 = $M_u >$
$M_{ux}$	1781.76	10540.4	29841.3
$M_{uy}$	5715.615	3243.82	5378.03
$P_u$	1017230	774918	771691
$V_{ux}$	4408.78	1980.21	1531.96
$V_{uy}$	1502.6	12036.1	11496.3

Berikut adalah kontrol terhadap pilecap *tersebut* sebagai contoh pada kondisi yang memiliki  $P_u$  terbesar:

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 1791,76 \text{ kg.m} \\ M_{uy} &= 5715,615 \text{ kg.m} \\ P_u &= 1017230 \text{ kg} \\ V_{ux} &= 4408,78 \text{ kg} \\ V_{uy} &= 1502,6 \text{ kg} \\ x &= 1,3 \text{ m} \\ y &= 0,65 \text{ m} \\ \sum x^2 &= 6,76 \text{ m}^2 \\ \sum y^2 &= 2,535 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_v &= \frac{P_u}{n} + \frac{M_{u_x} x y}{\Sigma y^2} + \frac{M_{u_y} x x}{\Sigma x^2} \\
 &= \frac{1017230}{6} + \frac{1781,76 \times 0,65}{2,535^2} + \frac{5715,615 \times 1,3}{6,76^2} \\
 &= 171094,4 \text{ kg} = 171,09 \text{ ton} \leq P_{ijin \text{ grup}} = 171,54 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dibawah ini adalah rekapitulasi mengenai kontrol tiang pancang, pile cap dan gaya yang terdistribusi kolom yang ada dari berbagai kondisi yaitu momen ultimate terbesar ( $M_u >>$ ), gaya geser terbesar ( $V_u >>$ ), dan tekan aksial terbesar ( $P_u >>$ ). Rumus

yang digunakan yaitu: 
$$P_v = \frac{P_u}{n} + \frac{M_{u_x} x y}{\Sigma y^2} + \frac{M_{u_y} x x}{\Sigma x^2}$$

- $P_u$  terbesar  
 $P_v \text{ 1 tiang} = 171,09 \text{ ton} \leq P_{ijin \text{ grup}} = 171,54 \text{ ton}$
- $V_u$  terbesar  
 $P_v \text{ 1 tiang} = 132,47 \text{ ton} \leq P_{ijin \text{ grup}} = 171,54 \text{ ton}$
- $M_u$  terbesar  
 $P_v \text{ 1 tiang} = 137,3 \text{ ton} \leq P_{ijin \text{ grup}} = 171,54 \text{ ton}$

#### ➤ **Kontrol Pons Geser Pilecap**

Dalam merencanakan pile cap harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada SNI 2847:2013 pasal 11.2.

#### ➤ ***Punching Shear***

Bagian geser adalah pada  $d/2$  dari muka kolom, seperti pada gambar dibawah.

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 800 + 1000 = 1800 \text{ mm} = 1,8 \text{ m} \\
 b_1 &= 800 + 2400 = 3200 \text{ mm} = 3,2 \text{ m} \\
 U &= 2(a_1 + b_1) = 10000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pada SNI tidak memberikan prosedur eksplisit untuk memperhitungkan *punching load* pada pile cap. Sehingga

punching load dapat diasumsikan sama dengan beban kolom dikurang berat dari bagian pile yang terletak pada  $d/2$  ( $1409/2 = 704,5$  mm). Punching Load bisa diperhitungkan sebagai berikut:

$$P_u \text{ kolom} = 1017,23 \text{ ton}$$

$$P_u \text{ pile} = 1,5 \times P_{ijin} = 1,5 \times 252,7 = 379,05 \text{ ton}$$

Diambil SF pile cap 1,5 karena diasumsikan pile cap tidak boleh gagal terlebih dahulu dibandingkan tiang pancang.

$$W_u = 1,2 \times 2,4 \times 2,109^2 \times 1 = 9,33 \text{ t}$$

$$P_{u,punch} = P_{u,kolom} + W_u - P_{pile}$$

$$P_{u,punch} = 1017,23 + 9,3 - 257,31 \times 6 = 517,33 \text{ t}$$

### ➤ Geser pons 2 Arah

Batas geser pons adalah yang terkecil dari

$$\phi V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) \times b_o \times d$$

$$\phi V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha \cdot d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$$\phi V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d$$

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

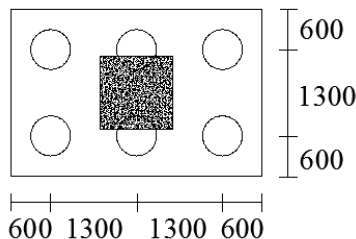
$$= \frac{800}{800} = 1$$

$b_0$  = keliling dari penampang kritis pada poer

$$= 3(b_{kolom} + d) + 2(h_{kolom} + d)$$

$$= 3 \times (800 + 1800) + 2 \times (800 + 500)$$

$$= 10400 \text{ mm}$$



**Gambar 4.67** Area Kritis Geser pons dua arah

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \frac{\sqrt{40}}{6} \times 10400 \times 1800 = 29598918,9 \text{ N}$$

$$V_c = 0,083 \times \left(\frac{1800}{10400} + 2\right) 1 \times \sqrt{40} \times 10400 \times 1800 = 21354481,5 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{40} \times 1800 \times 10400 = 39465225,2 \text{ N}$$

$$V_c = 21354481,5 \text{ N (menentukan)}$$

$$V_c = 2135,44 \text{ ton} > P_{u \text{ punch}} = 517,33 \text{ ton} \dots \text{OK}$$

Kapasitas Geser *poer* dapat menahan beban geser yang terjadi.

Kontrol tegangan geser yang terjadi :

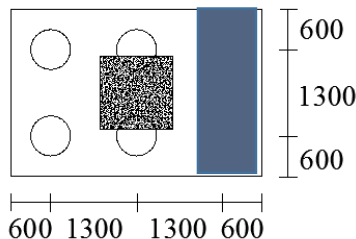
$$\tau_c = \frac{1}{3} x \sqrt{f'_c} = \frac{1}{3} x \sqrt{40} = 2,108 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u = \frac{P_{u \text{ punch}}}{b_o \times d} = \frac{489,67 \times 10^4}{10400 \times 1800} = 0,26 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u < \tau_c \dots \text{OK}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran *poer* mampu menahan gaya geser yang terjadi.

#### ➤ Geser Pons 1 Arah

**Gambar 4.68** Area Kritis Geser pons satu arah

$$P_{u, \text{pile}} = 252,7 \text{ t}$$

$$P_{u,reduce} = \frac{a}{\phi} P_{u,pile} = \frac{345,5}{700} \times 252,7 = 124,72 \text{ ton}$$

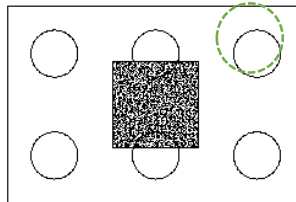
$V_u = 2 P_{u,reduce} - \text{berat pile cap}$

$$V_{u,pile} = 2 \times 124,72 - 1,2 \times 2,4 \times 3,6 \times 0,515 \times 1,5 = 241,43 \text{ t}$$

$$V_c = 0,75 \sqrt{f'_c} b_w d = 0,75 \sqrt{40} 3800 \times 1800 = 3244,49 \text{ t}$$

$V_c > V_{u,pile}$  maka,  $3244,49 > 241,43 \text{ t} \dots \text{OK}$

➤ **Geser Akibat tiang pancang individu**



**Gambar 4.69** Area Geser Akibat tiang pancang Individu

$$P_{u,pile} = 379,05 \text{ t}$$

$$U = 10400 \text{ mm}$$

$$\tau_u = \frac{379,05 \times 10^4}{10400 \times 1800} = 0,2 \text{ Mpa} < \tau_u = 0,26 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

➤ **Penulangan Pile Cap**

Dalam merencanakan penulangan pile cap, Momen yang terjadi pada *pile cap* didapat dari gaya yg bekerja pada tiang dan kolom. Penulangan lentur *pilecap* dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada muka kolom. Beban yang bekerja adalah  $P_{ijin \text{ grup}}$  dan berat dari *pilecap* sendiri.

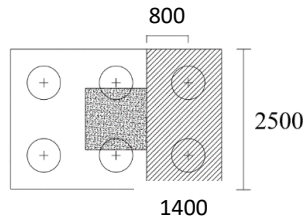
Mutu bahan:  $f'_c = 40 \text{ MPa}$

$f_y = 390 \text{ MPa}$

$\rho_{min} = 0,0018$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 40} = 11,47$$

a. Penulangan Lentur Sisi Panjang



**Gambar 4.70** Daerah Tulangan Lentur Sisi Panjang

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_{ijin \text{ grup}} = 171,54 \text{ ton} = 1715430,627 \text{ N} \\
 n &= 2 \\
 W_u \text{ Pilecap} &= 1,2 \times 2400 \times 2,5 \times 1 = 7200 \text{ kg/m} \\
 M_u &= n \times P \times 800 - 0,5 \times W_u \times 1400 \\
 &= 2 \times 1715430,672 \times 800 - 0,5 \times 72 \times 1400^2 \\
 &= 2674129075 \text{ Nmm} \\
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{2674129075}{0,9} = 2971254528 \text{ Nmm} \\
 m &= 11,47 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{2971254528}{2500 \times 910,5^2} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{11,47} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,43 \times 11,47}{390}} \right) = 0,0037
 \end{aligned}$$

- Tulangan butuh sisi bawah *pilecap*  
 $A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0037 \times 2500 \times 910,5 = 8422,125 \text{ mm}^2$   
 Jumlah tulangan  
 Digunakan tulangan D29  
 $n = 8422,125 / (\frac{1}{4} \pi 29^2) = 12,75 = 13 \text{ buah}$   
 Jarak tulangan  
 $S = (2500 - 2 \times 75 - 25) / (13 - 1) = 193,75 \text{ mm}$   
 $S \text{ pakai} = 190 \text{ mm}$

- Tulangan butuh sisi atas *pilecap*

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = A_{s_{perlu}} (\text{sisi atas}) \times 0,5 = 4211,06 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan

Digunakan tulangan D22

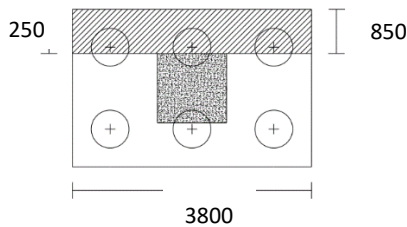
$$n = 4211,06 / (\frac{1}{4} \pi 22^2) = 11 \text{ buah}$$

Jarak tulangan

$$S = (2500 - 2 \times 75 - 25) / (11-1) = 232,5 \text{ mm}$$

S pakai = 230 mm

**b. Penulangan Lentur Sisi Pendek**



**Gambar 4.71** Daerah Tulangan Lentur Sisi Pendek

$$P = P_{ijin \text{ grup}} = 171,54 \text{ ton} = 1715430,627 \text{ N}$$

$$n = 3$$

$$W_u \text{ Pilecap} = 1,2 \times 2400 \times 3,8 \times 1 = 10944 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_u &= n \times P \times 250 - 0,5 \times W_u \times 850^2 \\ &= 3 \times 1715430,672 \times 250 - 0,5 \times 109,44 \times 850^2 \\ &= 1247037804 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1247037804}{0,9} = 1385597560 \text{ Nmm}$$

$$m = 11,47$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1385597560}{3800 \times 886,5^2} = 0,464 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{11,47} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,464 \times 11,47}{390}} \right) = 0,0012 \\ &= 0,0012 \leq 0,0018 \text{ maka pakai } 0,0018 \end{aligned}$$



- Tulangan butuh sisi bawah *pilecap*  
 $A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0018 \times 3800 \times 886,5 = 6063,66 \text{ mm}^2$   
 Jumlah tulangan  
 Digunakan tulangan D22  
 $n = 6063,66 / (\frac{1}{4} \pi 22^2) = 15,95 = 16 \text{ buah}$   
 Jarak tulangan  
 $S = (3800 - 2 \times 75 - 25) / (16-1) = 241,66 \text{ mm}$   
 $S \text{ pakai} = 240 \text{ mm}$
- Tulangan butuh sisi atas *pilecap*  
 $A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = A_{s_{perlu}} (\text{sisi atas}) \times 0,5 = 3031,83 \text{ mm}^2$   
 Jumlah tulangan  
 Digunakan tulangan D16  
 $n = 3031,83 / (\frac{1}{4} \pi 16^2) = 15,1 = 16 \text{ buah}$   
 Jarak tulangan  
 $S = (3800 - 2 \times 75 - 25) / (16-1) = 241,66 \text{ mm}$   
 $S \text{ pakai} = 240 \text{ mm}$

Kontrol koefisien faktor reduksi

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{7930 \times 390}{0,85 \times 40 \times 1000} = 90,9 \text{ mm}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{90,9}{0,76} = 119,6 \text{ mm}$$

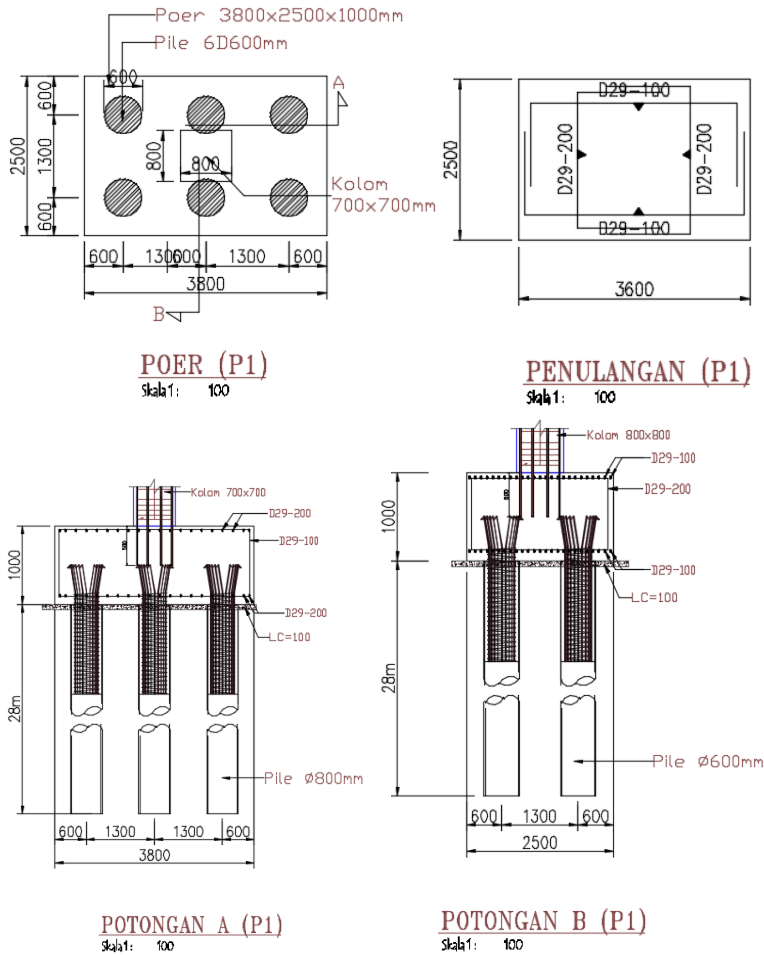
$$\varepsilon_t = 0,003 \left( \frac{d}{c} - 1 \right) = 0,003 \left( \frac{1300}{119,6} - 1 \right) = 0,029 > 0,005 \dots \text{OK}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 Gambar S9.3.2 didapat  $\varepsilon_t$  lebih besar daripada 0,005 sehingga pelat termasuk dalam kondisi terkontrol tarik dengan nilai  $\phi$  sebesar 0,9.

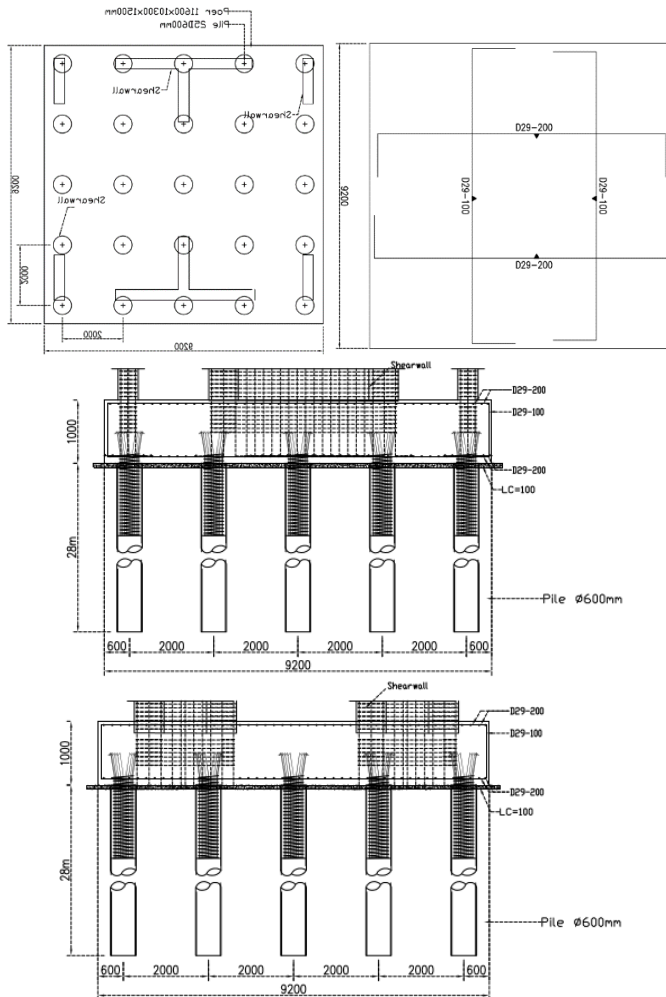
### **Penulangan Tusuk Konde**

Dalam perhitungan penulangan tusuk konde diambil rasio tulangan minimum menurut SNI 2847:2013 yaitu sebesar 2% dari inner diameter tiang pancang. Spesifikasi tiang pancang yang digunakan adalah diameter 600mm dengan ketebalan 100mm.  
 Inner diameter =  $600 - 100 = 500 \text{ mm}$

$A_{sperlu} = \rho \times \frac{1}{4} \pi d^2 = 0,02 \times \frac{1}{4} \pi 500^2 = 3926,99 \text{ mm}^2$   
Digunakan tulangan D29  
 $n = 7263,36 / (\frac{1}{4} \pi 29^2) = 5,94 = 6 \text{ buah}$   
 $s = \pi \times 500 / 6 = 261,8 \text{ mm}$   
gunakan  $s = 250 \text{ mm}$



**Gambar 4.72** Perencanaan Poer 1 (P1)



**Gambar 4.73** Perencanaan Poer 2 (P2)

➤ **Perencanaan Balok Sloof Interior**

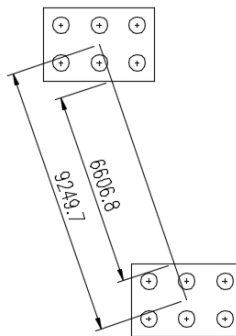
Struktur sloof dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain sloof mempunyai fungsi sebagai pengaku yang

menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. Adapun beban-beban yang ditimpakan ke sloof meliputi: berat sendiri sloof, berat dinding pada lantai paling bawah, beban aksial tekan atau tarik yang berasal dari 10% beban aksial kolom.

- **Data Perencanaan**

Data-data perancangan perhitungan sloof adalah sebagai berikut:

P kolom	= 1017,230 ton
Panjang Sloof L	= 6,6 m
Mutu Beton $f_c'$	= 35 MPa
Mutu Baja $f_y$	= 390 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter Tulangan Utama	= 25 mm
Diameter Sengkang	= 13 mm
Dimensi Sloof	= 500 mm x 750 mm
Tinggi Efektif	= $750 - 40 - 13 - (1/2 \times 25)$ = 639,5 mm



**Gambar 4.74** Sloof yang ditinjau

- **Dimensi Sloof Interior**

Pada perancangan *sloof* ini, penulis mengambil ukuran *sloof* berdasarkan *sloof* yang berhubungan dengan kolom yang mempunyai gaya aksial terbesar yaitu  $P_u = 1017,230$  ton. Penentuan dimensi dari sloof dilakukan dengan memperhitungkan

syarat bahwa tegangan tarik yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan ijin beton (modulus keruntuhan) yaitu sebesar:

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c}$$

Maka perhitungannya:

Tegangan tarik ijin:

$$f_{r \text{ ijin}} = 0,7 \times \sqrt{35} = 4,14 \text{ Mpa}$$

Tegangan tarik yang terjadi

$$\begin{aligned} P_u &= 10\% \times P_u \text{ kolom} \\ &= 10\% \times 1017,23 \text{ ton} \\ &= 101,723 \text{ ton} = 1017230 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_r = \frac{P_u}{0,8 \times b \times h} = \frac{1017230}{0,8 \times 500 \times 750} = 3,39 \text{ Mpa} < f_{r \text{ ijin}} \dots \text{OK}$$

- **Penulangan Sloof**

- a. **Penulangan Lentur Sloof**

Penulangan sloof didasarkan atas kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya diidealisasikan seperti penulangannya pada kolom. Adapun beban sloof adalah:

$$\begin{aligned} \text{Beban aksial } N_u &= 10\% \times 1017,23 \text{ ton} \\ &= 101,723 \text{ ton} = 1017,230 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban yang diterima sloof:

$$\begin{aligned} \text{Beban sendiri} &= 0,5 \times 0,75 \times 2,4 &= 0,9 \text{ t/m} \\ \text{Beban dinding} &= 3,325 \times 0,1 &= 0,3325 \text{ t/m} + \\ & &= 1,2325 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \times 1,2325 &= 1,479 \text{ t/m} \\ &= 14,79 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

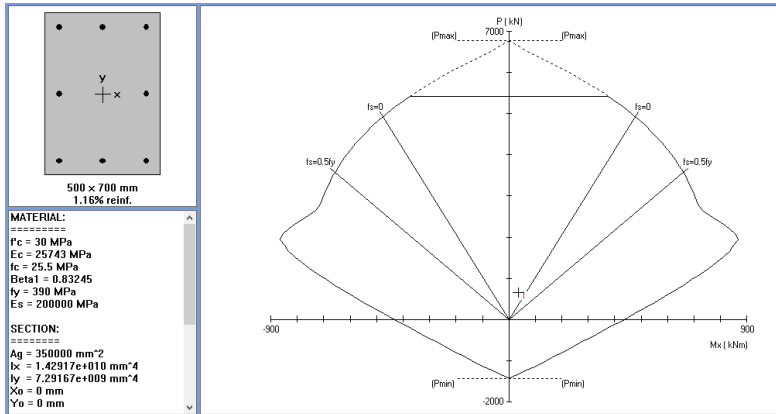
Momen yang terjadi (tumpuan menerus)

$$\begin{aligned} M_u &= 1/12 \times q_u \times L^2 \\ &= 1/12 \times 14,79 \times 6,6^2 \\ &= 53,6877 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lalu menggunakan program SP Column dengan memasukkan beban:

$$\begin{aligned} P &= 1017,230 \text{ kN} \\ M &= 53,6877 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan diagram interaksi seperti pada Gambar 4.45 di bawah ini :



**Gambar 4.75** Diagram Interaksi Balok Sloof 50/75

Dari diagram interaksi untuk:

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa} \text{ didapat } \rho = 1,08\%$$

$$\text{Dipasang Tulangan 8 D25 (As = 4077,41 mm}^2\text{)}$$

b. Penulangan Geser Sloof

Dari diagram interaksi didapat momen balance Mpr sebesar = 682,44 kNm (0,5fy)

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{pr} + M_{pr}}{h_n} \\ &= \frac{682,44 + 682,44}{6,6} = 221,93 \text{ kN} = 221933,153 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c} x b w x d x \left[ 1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right] \\ &= \frac{1}{6} x \sqrt{35} \times 500 \times 634,5 \left[ 1 + \frac{658631}{14 \times 500 \times 700} \right] \\ &= 328535,841 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 328535,841 \text{ N} = 246401,881 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 246401,881 \text{ N} = 123200,94 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c < V_u < \phi V_c$$

$$123200,94 \text{ N} < 248161,62 \text{ N} < 246401,881 \text{ N}$$

Maka,  $\phi V_s \text{ perlu} = \phi V_s \text{ min}$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 1/3 \times b_w \times d \\ &= 1/3 \times 500 \times 634,5 \\ &= 105750 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Kuat geser sengkang

$$\phi V_s = 0,75 \times 105750 = 79312,5 \text{ N}$$

#### Jarak minimum

Jika dipakai begel 2 kaki dengan DD13 mm ( $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ )

$$S = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} = \frac{265,46 \times 390 \times 634,5}{79312,5} = 828,25 \text{ mm}$$

#### Kontrol jarak sengkang

$$S \leq \frac{1}{2} \times d$$

$$S \leq \frac{1}{2} \times 634,5 \text{ mm} = 317,25 \text{ mm}$$

Maka Dipasang tulangan sengkang D13 – 300mm

## **4.7 Metode Pelaksanaan**

### **4.7.1 Umum**

Pekerjaan konstruksi beton pracetak merupakan bagian dari metode konstruksi modern saat ini. Inovasi metode pelaksanaan pekerjaan yang efektif dan efisien tanpa mengurangi kemampuan struktur merupakan salah satu permintaan yang besar. Metode pelaksanaan merupakan komponen penting yang tidak bisa dipisahkan dalam desain struktur pracetak. Sebelum direncanakan, harus terlebih dahulu diketahui apakah struktur yang nantinya dibangun bisa direalisasikan. Metode pelaksanaan ini merupakan

uraian mengenai komponen dan material-material pendukung yang digunakan dalam pelaksanaan metode beton pracetak.

#### **4.7.2 Fabrikasi Beton Pracetak**

Proses pencetakan elemen pracetak dilakukan secara pabrikasi di dalam industri beton pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah :

- a. Perlunya standar khusus sehingga hasil paracetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
- b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
- c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

#### **4.7.3 Pengangkatan dan Penempatan Crane**

Elemen struktur pracetak pada masing-masing komponen diperhitungkan yang paling berat, adalah sebagai berikut:

1. Balok induk 50/75 (9 m)  

$$W = 0,5 \times (0,75 - 0,14) \times 8,75 \times 2400 = 6405 \text{ kg}$$
2. Pelat  
 Ukuran Pelat  $2 \times 4 \text{ m}$  ( $t = 8 \text{ cm}$ )  

$$W = 2 \times 4 \times 0,07 \times 2400 = 1344 \text{ kg}$$
3. Kolom  
 Kolom terbesar yaitu kolom 70x70cm (tinggi 4m)  

$$W = 0,8 \times 0,8 \times 3,1 \times 2400 = 4761,6 \text{ kg}$$

Maka dari itu dibutuhkan kapasitas crane yang mampu mengangkat beban maksimum dari keseluruhan elemen beton pracetak yaitu balok induk 500x750 sepanjang 8,75 m sebesar  $6405 \text{ kg} = 6,405 \text{ ton}$ . Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain :

- a) Kemampuan maksimum crane yang digunakan



- b) Metode pengangkatan
- c) Letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

Hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan titik angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MR 160 C
- Jarak jangkauan maksimum 60 m dengan beban maksimum 7,5 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

#### **4.7.4 Transportasi Elemen Beton Pracetak**

Sistem transportasi disini meliputi :

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik.
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek.
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir.

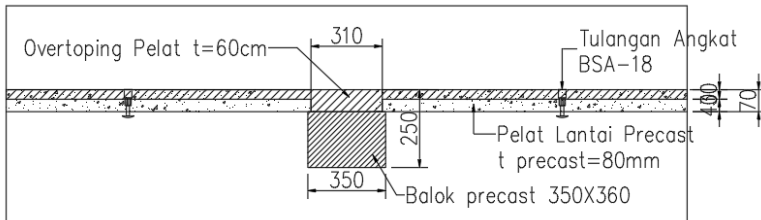
Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk tembel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di areal lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak menggunakan tower crane.

#### **4.7.5 Metode Pekerjaan Elemen Beton Pracetak**

##### **➤ Pemasangan Elemen Plat Pracetak**

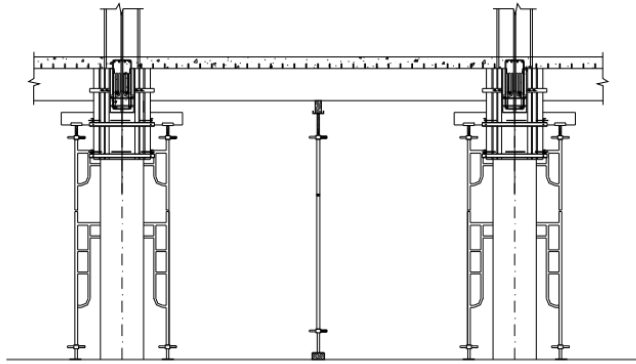
Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat pracetak yang sudah ditentukan.

Pemasangan tulangan bagian atas (*overtopping*), baik tulangan tumpuan maupun tulangan lapangan untuk pelat, balok anak dan balok induk.



**Gambar 4.76** Pekerjaan Pelat

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk, dan kepala kolom setinggi balok, yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 6 cm. Selain itu untuk pemasangan sambungan pelat *overtopping* juga digunakan stud sebagai *shear connector*. Pada proses pengecoran topping tersebut masih dibutuhkan penyangga untuk memastikan agar komponen terpasang baik dan pengecoran tersebut berjalan sesuai rencana. Tiap komponen bentang pelat tersebut diletakan penyangga pada bagian tepi dan tengah. Adapun pemasangan penyangga (*scaffolding*) tersebut dapat diilustrasikan pada gambar berikut:

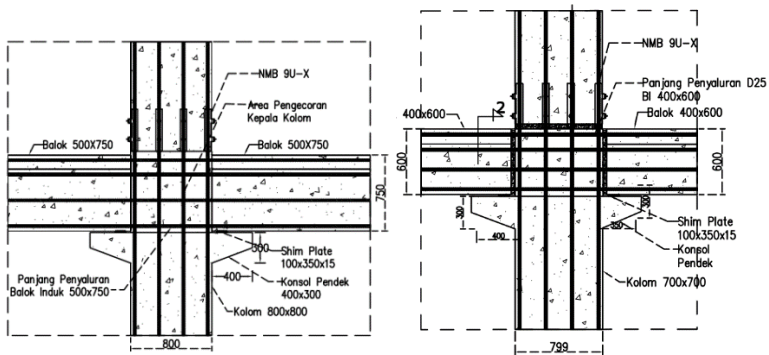


**Gambar 4.77** Pengecoran Topping dengan Penyangga *Scaffolding*

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

➤ **Pemasangan Elemen Balok Induk dan Balok Anak**  
**1. Pemasangan Elemen Balok Induk**

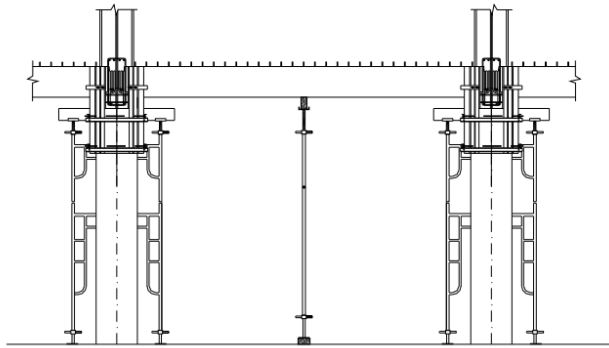
Pemasangan balok pracetak setelah kolom terpasang pada tempatnya. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan crane dan scaffolding untuk membantu menunjang balok pracetak. Kemudian dapat dilanjutkan dengan proses penyambungan antara kolom dan balok induk digunakan cor setempat atau dalam konteks ini istilahnya yaitu “cor kepala kolom”. Penyambungan yg dilakukan sebagaimana mestinya seperti metode case in situ biasa menggunakan panjang penyaluran balok yang ditanam ke area kolom. Tetapi pengecoran di sini dilakukan pada kepala kolom tersebut dengan dimensi lebar sisi sepanjang kolom tersebut dan setinggi balok yang menemuinya. Pada proses ini tetap digunakan bekisting untuk pengecoran kepala kolom tersebut.



**Gambar 4.78** Pemasangan Balok Induk Pracetak dan Kolum dengan Cor Setempat

## 2. Pemasangan Elemen Balok Anak Pracetak

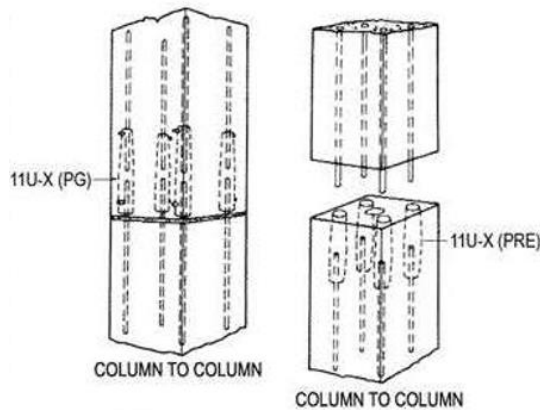
Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak dengan balok induk. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada balok induk maupun balok anak, maka dipasang tiga buah perancah dengan posisi satu di tengah dan dua di tepi. Pada proses penyambungan antara balok anak dan balok induk digunakan coupler untuk keperluan *inject grouting* yang didapat dari produk **NMB Splice Sleeve**. Coupler tersebut ditanam pada balok anak pracetak dan pada bagian balok induk ditanam juga tulangan lebih ke arah sambung dengan sejajar coupler yang ditanam balok dan searah untuk memasuki lubang coupler yang ditanam di balok anak pracetak. Untuk selanjutnya dilakukan *inject grouting* dengan lubang inlet pada permukaan luar bagian balok anak pracetak. Pemilihan dan penempatan coupler yang ditanam pada balok anak pracetak disesuaikan dengan diameter tulangan balok pracetak dan letak kebutuhan tulangnya. Berikut adalah ilustrasi pemasangan balok anak pracetak dengan bantuan perancah.



**Gambar 4.79** Pemasangan Balok Anak Pracetak dengan Bantuan Perancah

➤ **Pemasangan Elemen Kolom Pracetak**

Setelah dilakukan pemancangan dan pembuatan pile cap maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pengecoran pile cap. Pada penyambungan antar kolom dengan dimensi berbeda pada dasarnya sama seperti pada proses penyambungan antar kolom dengan dimensi sama, hanya saja pada tulangan panjang penyaluran pada kondisi ini lebih dilakukan penyesuaian terhadap lubang kolom yg berada di atasnya. Untuk metode penyambungannya di sini penulis menggunakan referensi dari produk *coupler sleeve* dari **NMB Splice Sleeve** dan *SS Mortar Sgrouting injection*. Maka dari itu, sambungan pada kolom-kolom ini tetap diklasifikasikan dalam kategori sambungan basah (*wet connection*). Berikut adalah ilustrasi mengenai proses penyambungan antar kolom dengan menggunakan coupler sleeve dan inject grouting yang dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 4.80** Ilustrasi Penyambungan antar Kolom Pracetak dan Shearwall Pracetak Menggunakan *Coupler* dari Produk **NMB Splice Sleeve**

➤ **Mekanisme Sambungan NMB Coupler Sleeve dengan Injeksi Grouting**

Pada elemen pracetak, *coupler sleeve* dengan spesifikasi yang telah direncanakan di letakan pada elemen tersebut saat proses fabrikasi. Penempatan *coupler* tersebut sesuai pada tata letak tulangan dan dimensi panjangtulangan yang direncanakan pada elemen tersebut. Sehingga, elemen pracetak tersebut nantinya saat akan diinstalasi sudah memiliki lubang-lubang *coupler* di setiap elemen yang telah direncanakan untuk keperluan sambungan *grouting* nantinya. Pada proses penyambungan tersebut, penentuan tipe spesifikasi coupler sleeve berdasarkan diameter tulangan yang direncanakan. Adapun untuk pemilihan spesifikasi coupler tersebut dapat dilihat berdasarkan ketentuan pada gambar 4.81 berikut

DIMENSIONS OF NMB SPLICE-SLEEVES*											RECOMMENDED REBAR EMBEDMENT LENGTH						
Sleeve No.	Bar Diameter	ASTM Bar Size		Sleeve Length (L) inch (mm)	Narrow End Diameter		Max. Dia. (B) inch (mm)	Wide End Diameter			Factory Dowel (E1) inch (mm)		Field Dowel (E2) inch (mm)			SS Mortar lbs. per Sleeve (kg)	
		U.S.	Metric		I.D. (C) inch (mm)	O.D. (C') inch (mm)		I.D. (A) inch (mm)	Total Tolerance inch (mm)	O.D. (A') inch (mm)	Min.	Max.	Min.	Avg.	Max.		
5U-X	0.625	#5	16 MM	9.65 (245)	0.87 (22)	1.50 (38)	1.81 (46)	1.26 (32)	0.63 (16)	1.89 (48)	4.13 (105)	4.33 (110)	4.13 (105)	4.53 (115)	4.92 (125)	1.26 (0.57)	
6U-X	0.750	#6	20 MM	11.22 (285)	1.02 (26)	1.62 (42)	1.97 (50)	1.42 (36)	0.67 (17)	2.05 (52)	4.92 (125)	5.12 (130)	4.92 (125)	5.32 (135)	5.71 (145)	1.76 (0.80)	
7U-X	0.875	#7	22 MM	12.80 (325)	1.14 (29)	1.77 (45)	2.28 (58)	1.73 (44)	0.86 (22)	2.36 (60)	5.91 (145)	5.91 (150)	5.91 (145)	6.11 (155)	6.50 (165)	2.65 (1.20)	
8U-X	1.000	#8	25 MM	14.57 (370)	1.30 (33)	1.93 (49)	2.48 (63)	1.89 (48)	0.89 (23)	2.52 (64)	6.50 (165)	6.69 (170)	6.50 (165)	6.99 (178)	7.48 (190)	3.46 (1.57)	
9U-X	1.128	#9	28 MM	16.34 (415)	1.42 (36)	2.06 (52)	2.60 (66)	2.01 (51)	0.89 (23)	2.67 (68)	7.40 (188)	7.56 (192)	7.40 (188)	7.88 (200)	8.35 (212)	3.95 (1.79)	
10U-X	1.270	#10	32 MM	17.91 (455)	1.57 (40)	2.28 (58)	2.80 (71)	2.16 (55)	0.89 (23)	2.87 (73)	8.19 (208)	8.35 (212)	8.19 (208)	8.66 (220)	9.13 (232)	4.94 (2.24)	
11U-X	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	2.40 (61)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.98 (228)	9.13 (232)	8.98 (228)	9.45 (240)	9.92 (252)	6.02 (2.73)	
SNX11	1.410	#11	35 MM	19.09 (485)	1.69 (43)	3.03 (77)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.86 (225)	9.25 (235)	8.27 (210)	8.86 (225)	9.45 (240)	5.71 (2.59)	
A11W	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	3.31 (84)	3.30 (84)	2.60 (66)	1.19 (30)	3.30 (84)	8.86 (225)	9.69 (246)	8.27 (210)	8.96 (228)	9.50 (241)	6.99 (3.17)	
14U-X	1.693	#14	40 MM	24.41 (620)	2.01 (51)	2.80 (71)	3.46 (88)	2.60 (66)	0.91 (34)	3.46 (88)	11.42 (290)	11.61 (295)	11.42 (290)	11.91 (303)	12.40 (315)	9.19 (4.17)	
18U	2.257	#18	57 MM	36.22 (920)	2.68 (68)	3.66 (93)	4.72 (120)	3.27 (83)	1.01 (26)	4.25 (108)	17.00 (432)	18.11 (460)	17.00 (432)	17.56 (446)	18.11 (460)	25.31 (11.48)	

**Gambar 4.81** Pemilihan Tipe *Coupler Sleeve NMB Splice Sleeve*

Setelah elemen diinstalasi pada tempat yang sudah direncanakan maka tahapan selanjutnya yaitu dilakukan injeksi *grouting* pada lubang tersebut. Elemen yang akan dilakukan injeksi *grouting* ini adalah pada sambungan kolom dan kolom, balok induk dan balok anak. Selain itu pada sambungan pelat dan balok serta balok anak dan balok induk dilakukan pengecoran *overtopping* sehingga tidak membutuhkan *coupler sleeve* pada jenis penyambungan tersebut. Pada saat proses *grouting* tersebut tetap harus dilakukan inspeksi terhadap pekerjaan tersebut agar injeksi yang dilakukan dapat mengisi lubang *coupler* sepanjang panjang penyaluran tersebut dengan penuh. Hal ini dilakukan untuk menjamin tingkat keberhasilan proses menuju monolit antar elemen tersebut. Inspeksi tersebut dapat dilakukan dengan melihat pada katup dengan tuas tali *coupler* yang tersedia di sisi luar elemen pracetak tersebut. Jika tuas tali tersebut mengalami dorongan sampai penuh batas yang ditentukan ke arah luar dari lubang tersebut, maka proses injeksi tersebut dinilai sudah berhasil. Sedangkan, material *grouting* yang digunakan pada proses injeksi tersebut adalah mortar dari produk *SS Mortar Grout*. Setelah proses inject *grouting* tersebut, elemen *coupler* yang dilakukan

inject didiamkan sekitar satu hari sampai kondisi benar-benar selesai dan dapat dilanjutkan pada pekerjaan selanjutnya. Untuk lebih detail mengenai tahapan proses tersebut dapat dilihat pada ketentuan syarat produk di gambar 4.82 berikut:

SS Mortar® (Grout) - Compressive Strength Time vs Temperature							
Curing Temp		Compressive Strength (psi)					
		12 hr	18 hr	1 day	3 days	7 days	28 days
41°F	5°C	---	834	1,869	5,823	8,871	13,860
50°F	10°C	410	1,869	2,905	6,858	9,907	14,895
68°F	20°C	1,869	3,328	4,364	8,317	11,366	16,354
86°F	30°C	2,905	4,364	5,399	9,352	12,401	17,389
104°F	40°C	3,708	5,167	6,202	10,155	13,204	18,192

Calculated strength — calculated from the formula  $(24.758 \text{ Ln } x \text{ Cumulative Temperature}) - 54.183$

**Gambar 4.82** Lama Pengeringan Proses *inject grouting* dengan *SS Mortar*

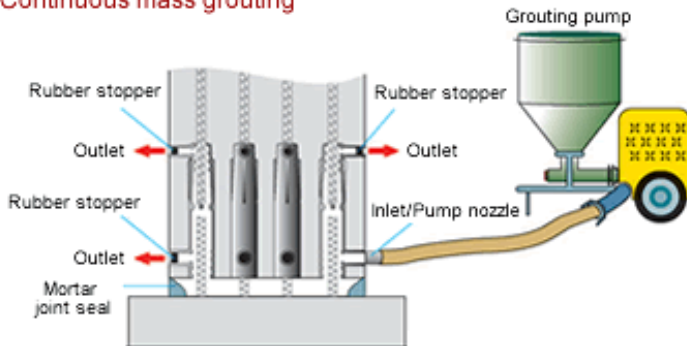
Tahapan-tahapan dalam proses penyambungan dengan metode ini sebagai berikut:

1. Coupler **NMB Splice Sleeve** dengan spesifikasi yang telah direncanakan ditanam pada elemen pracetak yang dikehendaki.
2. Selanjutnya dilakukan instalasi komponen pracetak yang akan dilakukan penyambungan.
3. Dilakukan inject grouting dengan menggunakan produk *SS Mortar Grout* pada lubang inlet/ pump nozzle pada coupler bagian bawah
4. Proses inject tersebut dalam pengerjaannya perlu dilakukan inspeksi untuk mengetahui apakah mortar tersebut sudah memenuhi seluruh ruang penyambungan atau belum.
5. Proses inject tersebut sudah selesai ditandai dengan Bergeraknya rubber stopper yang berada pada sisi lubang lain

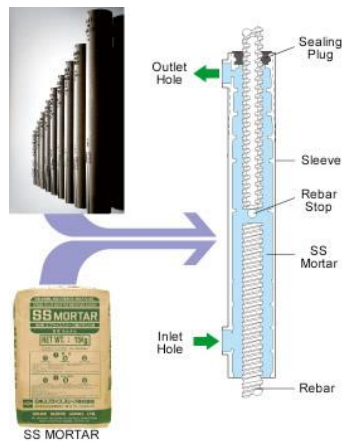
Berikut adalah gambar proses injeksi groting pada elemen pracetak dengan menggunakan *NMB Coupler Sleeve* dan *SS Mortar Grout*.



### Continuous mass grouting



**Gambar 4.3** Proses Injeksi Grouting Menggunakan *NMB Coupler Sleeves* dan *SS Mortar Grout*



**Gambar 4.84** Mekanisme Tulangan dalam Coupler NMB Splice Sleeve

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur yang dilakkan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perencanaan Modifikasi Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi Dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak” maka disimpulkan beberapa data sebagai berikut :

1. Berdasarkan SNI 2847:2013 didapatkan perhitungan tebal dimensi struktur sekunder dan struktur primer dari beberapa elemen struktur berikut :

**Tabel 5.1** Dimensi Struktur Sekunder

Struktur Sekunder				
Elemen	Tipe	Kondisi	Ukuran	Satuan
Pelat	Lantai	Tebal	14	cm
	Atap			
Balok Anak	BA 1	Pracetak	35/36	cm
		Komposit	35/50	cm
	BA 2	Pracetak	40/46	cm
		Komposit	40/60	cm
Pelat Tangga	Tipikal	Tebal	21	cm
Pelat Bordes	Tipikal	Tebal	14	cm

**Tabel 5.2 Dimensi Struktur Primer**

Struktur Primer				
Elemen	Tipe	Kondisi	Ukuran	Satuan
Balok Induk	BI 1	Pracetak	50/61	cm
		Komposit	50/75	cm
	BI 2	Pracetak	50/56	cm
		Komposit	50/70	cm
	BI 3	Pracetak	40/46	cm
		Komposit	40/60	cm
Kolom	Lt. Basement - 4	Pracetak	80x80	cm
	Lt. 5 - 8	Pracetak	70x70	cm
	Lt. 9 - 16	Pracetak	60x60	cm
	Lt. 17 - 20	Pracetak	50x50	cm
Dinding Geser	Tipikal (in situ)	Tebal	35	cm
Poer (Pile Cap)	Tipe 1	In Situ	380x250x100	cm
	Tipe 2	In Situ	1030x1030	cm
Tiang Pancang	Tipikal (in situ)	Diameter	60	cm
		Kedalaman	28	m

- Analisa gaya dalam struktur gedung menggunakan program bantu ETABS. Perhitungan respon spectrum dengan bantuan *puskim.pu.go.id* wilayah gempa Bekasi dan perhitungannya berdasarkan SNI 1726:2012. Perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013 dan PPIUG 1983. Gaya yang dimasukkan dalam permodelan adalah beban mati dan beban hidup dan beban gempa berdasarkan peraturan di atas.
- Penyambungan elemen pracetak menggunakan produk sambungan cupler sleeve dari *NMB Coupler Sleeve* yaitu dengan menggunakan konsep coupler yang ditanam pada komponen pracetak lalu dilakukan inject grouting dengan produk dari SS Mortar. Sambungan bersifat basah dan monolit dan dalam analisisnya panjang penyaluran pada balok dihitung berdasarkan persyaratan SNI 2847:2013, kecuali pada komponen kolom tidak dibutuhkan panjang penyaluran karena dengan sambungan coupler tersebut tulangan antar kolom sudah dianggap menerus dan komposit. Analisa kekuatan gaya aksial maksimum yang dapat dipikul oleh

sambungan dibandingkan dengan gaya aksial setelah tulangan mengalami leleh (1,25fy).

4. Mekanisme metode penyambungan yaitu pada elemen balok induk dengan balok anak dan antar kolom dilakukan dengan metode NMB Coupler Sleeve yang *diinject* menggunakan SS Mortar. Sedangkan untuk elemen balok dengan pelat, balok induk dengan kolom dilakukan pengecoran *overtopping* dan terdapat panjang penyalurannya.
5. Semua elemen direncanakan pracetak kecuali dinding geser dan balok yang diapit oleh dinding geser untuk mempermudah pelaksanaan di lapangan.
6. Pondasi yang direncanakan sesuai dengan ketentuan perhitungan tiang pancang (spun pile) produk dari WIKA Beton dengan metode tengangan ijin dan pile cap (poer) berdasarkan metode tengangan ultimate.
7. Hasil analisa struktur yang telah dilakukan pada Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi akan dituangkan pada gambar teknik dengan program bantu AutoCad pada lampiran.

## 5.2 Saran

Berdasarkan analisa secara keseluruhan dari proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat disampaikan oleh penulis diantaranya adalah :

1. Urutan yang benar dalam perencanaan gedung dengan metode pracetak adalah menentukan design gambar 3D, menentukan kriteria design dan konsep desain sambungan. Hal ini dikarenakan hal terpenting dalam perencanaan metode beton pracetak adalah konsep yang dimiliki, karena untuk perhitungan hampir sama dengan metode konvensional.
2. Dalam pelaksanaan di lapangan terutama pada bagian pengangkatan elemen pracetak dan sambungan antar elemen pracetak harus diberi pengawasan yang baik dan benar. Dalam pengangkatan harus diperhatikan tinggi angkat dan sudut pengangkatan agar tidak terjadi kegagalan struktur akibat

momen tak terduga saat pengangkatan. Pada saat penyambungan, tentunya sambungan beton pracetak tidak semonolit sambungan cor setempat dan rawan terjadi keretakan akibat gaya-gaya yang tidak diinginkan karena kurang sempurnanya pekerjaan sambungan.

3. Perancangan elemen yang akan dipracetak seharusnya bisa dibuat lebih efisien jika memperhatikan konsep desain terlebih dahulu. Dalam pengembangan ke depannya elemen dinding geser bisa dibuat pracetak jika memenuhi ketentuan dalam peraturan yang ada.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait konsep sambungan yang digunakan oleh penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini, karena analisa yang digunakan hanya melalui ketentuan yang terdapat pada brosur produk sambungan. Perlu dikaji lebih lanjut mengenai beberapa aspek kekuatan yang diperhitungkan untuk sambungan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, Muhamad. 2007. **Inovasi Teknologi dan Sistem Beton Pracetak di Indonesia: Sebuah Analisa Rantai Nilai. Kontruksi Tahan Gempa di Indonesia**. Seminar dan Pameran HAKI 2007, Jakarta
- ACI. **ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete**. U.S.A : *American Concrete Institute*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 2847:13 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 03-1727-2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung ( PPIUG )**. Jakarta, Indonesia
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. **Peraturan Beton Bertulang Indonesia ( PBBT )**. Jakarta, Indonesia
- Elliot, Kim S.. 2002. **Precast Concrete Structure**. India : Butterwoth Heinemann
- Ervianto, Wulfram. 2006. **Teknologi Pracetak dan Bekisting**. Bandung
- McCormac dan Brown. 2014. **Design of Reinforced Concrete 9<sup>th</sup> Edition**. USA
- Nurjannah, Siti Aisyah. 2011. **Perkembangan Sistem Struktur Beron Pracetak Sebagai Alternatif pada Teknologi Konstruksi Indonesia yang Mendukung Efisiensi Energi serta Ramah Lingkungan. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 : 234-242**. Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

- Ozturan, Turan. 2006. **Ductiles Connection In Precast Concrete Moment Resisting Frames**. Turkey : PCI Journal.
- Tjahjono, Elly., dan Purnomo, Heru. 2004. **Pengaruh Penempatan Penyambungan pada Perilaku Rangkaian Balok Kolom Beton Pracetak Bagian Sisi Luar**. **Makara Teknologi Volume. 8 No. 3 (Desember) : 90 – 97**. Depok, Indonesia
- PCI. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee
- Vidjeapriya. 2011. **Behaviour of Precast Beam-Column Mechanical Connections Under Cyclic Loading**. India : Asian Journal of Engineering
- Wahyudi, Herman. 1999. **Daya Dukung Pondasi Dalam**, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

## BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Aji Dicky Permana ini dilahirkan di Kebumen pada tanggal 10 Desember 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD N 3 Karanganyar, SMP N 1 Karanganyar dan SMA N 1 Gombong. Lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan program sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil ITS pada tahun 2013 melalui Program SNMPTN 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113100002.

Gelar Sarjana Teknik diperoleh penulis pada tahun 2017 dengan judul Tugas Akhir *“Perencanaan Modifikasi Gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon Bekasi Dengan Menggunakan Metode Beton Pracetak”*. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar dan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh Jurusan, Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS) dan beberapa kegiatan lain di kampus ITS. Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: **dickyajipermana@gmail.com**





# NMB

# SPLICE-



8 Day Bridge – Epping, NH



Salt Lake City – Front Runner Railway



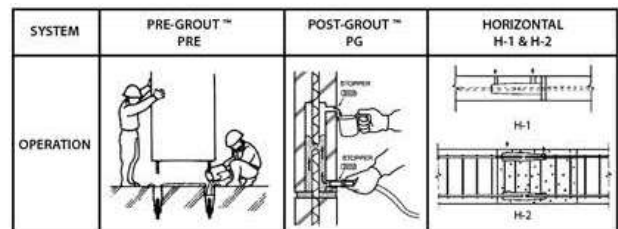
F35 Training Facility ATCT

## ERECTION

During erection, precast concrete elements are set into position one of three ways (see diagrams). The rebar dowels projecting from either the foundation or opposite piece are inserted into [NMB Splice-Sleeves](#) embedded in the precast element. The wide (field) end of the sleeves is designed larger than the rebar to provide tolerance to accommodate bar misalignment. The sleeve also allows tolerance with inserted rebar length (See Chart on Page 5).

If needed additional tolerance can be gained by “Upsizing” to a bigger sleeve. This can be any bigger size but usually one or two. Similar to Upsizing, different rebar sizes can be “Transition Spliced” in the [NMB Splice-Sleeve](#) (for details see User’s Manual). These abilities allow all bars to be quickly mated and grouted simultaneously, saving crane time and speeding erection.

The precast elements are temporarily braced while the grout cures sufficiently in the sleeves. Typically EORs specify 4,000 psi which is comfortably above the yield strength connection. This is achieved in less than 24 hours at 68°F (see chart above), contributing to rapid construction.



SS Mortar® (Grout) - Compressive Strength Time vs Temperature

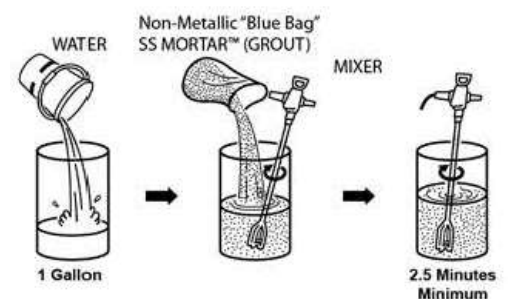
Curing Temp	Compressive Strength (psi)					
	12 hr	18 hr	1 day	3 days	7 days	28 days
41°F 5°C	---	834	1,869	5,823	8,871	13,860
50°F 10°C	410	1,869	2,905	6,858	9,907	14,895
68°F 20°C	1,869	3,328	4,364	8,317	11,366	16,354
86°F 30°C	2,905	4,364	5,399	9,352	12,401	17,389
104°F 40°C	3,708	5,167	6,202	10,155	13,204	18,192

Calculated strength — calculated from the formula  $(24.758 \ln x \text{ Cumulative Temperature}) - 54.183$

## GROUTING

For PRE-GROUT applications, the SS MORTAR grout is simply poured into the sleeve and consolidated before the next precast member is set in position.

For POST-GROUT and HORIZONTAL applications, the grout is pumped into the sleeve by means of a hand-operated pump. With both these systems, grouting operations can be performed after bracing and do not interfere with erection progress.



In total, [NMB SPLICE-SLEEVE](#) contributes to speed of construction.



# NMB

# SPLICE-SLEEVE

## NMB SPLICE-SLEEVE

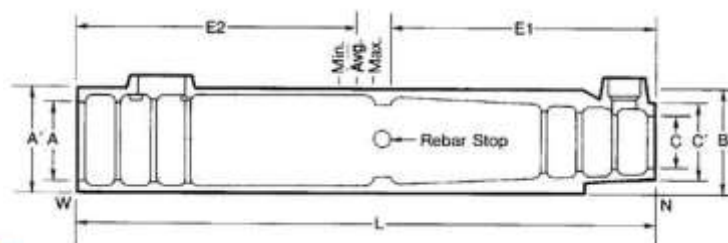
**Steel Specification:** The material properties of the NMB Splice-Sleeve® iron castings conform to proprietary specification based on ASTM A536-84. The Models 5U-X and 6U-X satisfy the ASTM A536 Grade 65-45-12 [minimum yield and tensile strength of 65,000 and 45,000 psi respectively], Models 7U-X through Model 14U-X, Model A11W, and Model SNX 11 satisfy ASTM A536 [Grade 80-55-06] with a Grade of 85-60-06 [minimum yield and tensile strength of 85,000 and 60,000 psi respectively].

**Grout Specification:** The grout used in the NMB must be non-metallic, “SS Mortar®”. Minimum grout strength requirements for ASTM A615 Grade 60 rebars:

<b>Type 2 (ACI)</b>	(100% Fu = 150% Fy = 90 ksi)	<b>9,500 psi</b>
<b>Type 1 &amp; AASHTO</b>	(125% Fy = 75 ksi)	<b>6,500 psi</b>
<b>Yield Strength</b>	(100% Fy = 60 ksi)	<b>3,000 psi</b>

NOTE: To allow for variations in curing, typically cube breaks of 4, 000-psi are specified by the EOR for removal of bracing and continued erection.

DIMENSIONS OF NMB SPLICE-SLEEVES*											RECOMMENDED REBAR EMBEDMENT LENGTH					
Sleeve No.	Bar Diameter	ASTM Bar Size		Sleeve Length (L) inch (mm)	Narrow End Diameter		Max. Dia. (B) inch (mm)	Wide End Diameter			Factory Dowel (E1) inch (mm)		Field Dowel (E2) inch (mm)			SS Mortar lbs. per Sleeve (kg)
		U.S.	Metric		I.D. (C) inch (mm)	O.D. (C') inch (mm)		I.D. (A) inch (mm)	Total Tolerance inch (mm)	O.D. (A') inch (mm)						
											Min.	Max.	Min.	Avg.	Max.	
5U-X	0.625	#5	16 MM	9.65 (245)	0.87 (22)	1.50 (38)	1.81 (46)	1.26 (32)	0.63 (16)	1.89 (48)	4.13 (105)	4.33 (110)	4.13 (105)	4.53 (115)	4.92 (125)	1.26 (0.57)
6U-X	0.750	#6	20 MM	11.22 (285)	1.02 (26)	1.65 (42)	1.97 (50)	1.42 (36)	0.67 (17)	2.05 (52)	4.92 (125)	5.12 (130)	4.92 (125)	5.32 (135)	5.71 (145)	1.76 (0.80)
7U-X	0.875	#7	22 MM	12.80 (325)	1.14 (29)	1.77 (45)	2.28 (58)	1.73 (44)	0.86 (22)	2.36 (60)	5.71 (145)	5.91 (150)	5.71 (145)	6.11 (155)	6.50 (165)	2.65 (1.20)
8U-X	1.000	#8	25 MM	14.57 (370)	1.30 (33)	1.93 (49)	2.48 (63)	1.89 (48)	0.89 (23)	2.52 (64)	6.50 (165)	6.69 (170)	6.50 (165)	6.99 (178)	7.48 (190)	3.46 (1.57)
9U-X	1.128	#9	28 MM	16.34 (415)	1.42 (36)	2.06 (52)	2.60 (66)	2.01 (51)	0.89 (23)	2.67 (68)	7.40 (188)	7.56 (192)	7.40 (188)	7.88 (200)	8.35 (212)	3.95 (1.79)
10U-X	1.270	#10	32 MM	17.91 (455)	1.57 (40)	2.28 (58)	2.80 (71)	2.16 (55)	0.89 (23)	2.87 (73)	8.19 (208)	8.35 (212)	8.19 (208)	8.66 (220)	9.13 (232)	4.94 (2.24)
11U-X	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	2.40 (61)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.98 (228)	9.13 (232)	8.98 (228)	9.45 (240)	9.92 (252)	6.02 (2.73)
SNX11	1.410	#11	35 MM	19.09 (485)	1.69 (43)	3.03 (77)	3.03 (77)	2.32 (59)	0.91 (23)	3.03 (77)	8.86 (225)	9.25 (235)	8.27 (210)	8.86 (225)	9.45 (240)	5.71 (2.59)
A11W	1.410	#11	35 MM	19.49 (495)	1.73 (44)	3.31 (84)	3.30 (84)	2.60 (66)	1.19 (30)	3.30 (84)	8.86 (225)	9.69 (246)	8.27 (210)	8.96 (228)	9.50 (241)	6.99 (3.17)
14U-X	1.693	#14	40 MM	24.41 (620)	2.01 (51)	2.80 (71)	3.46 (88)	2.60 (66)	0.91 (23)	3.46 (88)	11.42 (290)	11.61 (295)	11.42 (290)	11.91 (303)	12.40 (315)	9.19 (4.17)
18U	2.257	#18	57 MM	36.22 (920)	2.68 (68)	3.66 (93)	4.72 (120)	3.27 (83)	1.01 (26)	4.25 (108)	17.00 (432)	18.11 (460)	17.00 (432)	17.56 (446)	18.11 (460)	25.31 (11.48)

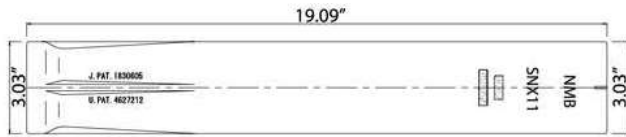




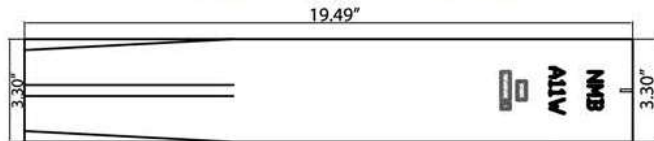


# NMB

# SPLICE-



## NEW PRODUCTS!



### SNX 11

- US PVC grout tubes  
3/4" inlet & 1/2" outlet
- Screw in Rubber Plugs
- 9/11 RP for upsizing
- More Tolerance

### A11W



### How to specify NMB SPLICE-SLEEVES:

**SPECIFIC:** Show sleeve size and grouting system.

Examples: **NMB SPLICE SLEEVE** 8U-X (PG), 11U-X (PRE) from Splice Sleeve North America, Inc. Livonia, Michigan.

**GENERIC:** Mechanical rebar splices by means of grout-filled steel sleeves with frusto-conical geometry into which a non-shrink, high-strength grout is introduced using a low pressure pump, the splice to meet the TYPE 1 or 2 requirements of ACI 318.

### AASHTO:

The **NMB SPLICE-SLEEVE** exceeds the requirements (min. 125%F<sub>y</sub>) of the AASHTO, Standard Specification for Highway Bridges, Division I- Design, Section 8.32.2. This article sets down requirements for fatigue design of mechanical connections. The NMB is listed generically as the "Grout-filled sleeve (without threaded ends), with or without epoxy coated rebar", which gains the 18-ksi stress category (highest) under 5 million cycle testing per NCHRP 10-35 methodology.

### APPROVAL AND RECOGNITION

- ◆ Evaluation Report ESR-: ICC Evaluation Service, Inc.
- ◆ New York City Board of Standards and Appeals, Calendar No. 329-89-SM
- ◆ City of Los Angeles, Departments of Building and Safety, Research Report: RR25385
- ◆ Various U.S. State Department of Transportation
- ◆ Building Center of Japan, Ministry of Construction
- ◆ Housing Development Board, Singapore
- ◆ Ministry of Works and Development, New Zealand

BORING LOG

Project No. : 1S.14093  
Project : GRAND DHIKA CITY  
Location : Jatiwarna, Bekasi - Jawa Barat

Sta & Offset : -  
Elevation : -  
GWL : -4.80 m  
Start Date : 14/07/2014  
Finish Date : 18/07/2014  
Bore Depth : 40.00 m  
Core Dia. : 7.30 cm  
Casing Dia. : 8.90 cm

Borhole Coord. :  
Driller : Ibnu Cs  
Hammer Type : Automatic Trip Hammer  
Energy (65 % - 75 %)

Log No.  
DB 1

Remarks :  
Shelby Tube ( UD )  
Disturbed Sample ( DS )  
Rock Core  
Split Spoon  
Casing  
Bag Sample

Depth (m)	Legend	Symbol	Description	Sampling		Standard Penetration Test											Laboratory Test									
				Depth (m)	Sample	Blows Per Each 15 cm				N - Value						Strength Test				$\gamma_t$ t/m <sup>3</sup>	Gs	e	Atterberg Limit (%)			
						N1	N2	N3	N	10	20	30	40	50	60	Type	$\tau_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_u / \phi'$ (°)	$\sigma'_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )				Wn	LL	PL	LI
1		MH	CLAYEY SILT Red, moist, stiff, high plasticity	1	⊗	2	3	6	9							UU	-	-	-	1.72	2.62	1.22	45.18	73.20	38.70	0.19
2			DB1 - UD1 : 1.00 - 1.50 m	2	⊗	3	5	6	11																	
3		MH	CLAYEY SILT Brownish red, moist, medium stiff, high plasticity	3	⊗											UU	-	-	-	1.57	2.56	1.60	58.78	88.85	43.58	0.34
4			DB1 - UD2 : 3.00 - 3.50 m	4	⊗	2	3	5	8																	
5			DB1 - UD3 : 5.00 - 5.50 m	5	⊗											UU	-	-	0.52	1.61	2.60	1.52	55.62	56.50	37.08	0.95
6				6	⊗	2	3	4	7																	
7		ML	CLAYEY SILT Yellowish brown, moist, stiff, low plasticity	7																						
8				8	⊗	3	4	6	10																	
9		MH	CLAYEY SILT Greyish brown, moist, stiff, high plasticity	9	⊗											UU	0.22	5.57	1.23	1.71	2.63	1.31	49.70	82.40	47.98	0.05
10			DB1 - UD4 : 9.00 - 9.50 m	10	⊗	2	4	7	11																	
11		ML	CEMENTED SILT Black, moist, hard, low plasticity	11																						
12				12	⊗	10	14	21	35																	
13				13																						
14				14	⊗	12	25	30	>50	N-SPT > 50 blows/ft																
15		ML	CEMENTED SILT Greyish black, moist, hard, low plasticity	15					10																	
16				16	⊗	14	28	35	>50	N-SPT > 50 blows/ft																
17		SP	CEMENTED SAND Black, wet, very dense, well graded	17					9																	
18				18	⊗	30	-	-	>50	N-SPT > 50 blows/ft																
19		ML	SILT Black, moist, hard, low plasticity	19		7																				
20				20	⊗	8	16	22	38																	
21		ML	CEMENTED SILT Greyish black, moist, hard, low plasticity	21																						
22				22	⊗	10	18	30	48																	
23				23																						
24				24	⊗	11	20	33	>50	N-SPT > 50 blows/ft																
25				25																						
26				26	⊗	20	35	-	>50	N-SPT > 50 blows/ft																
27				27					9																	
28				28	⊗	24	32	-	>50	N-SPT > 50 blows/ft																
29		ML	SILT Greyish black, moist, hard, containing a few of fine sand, low plasticity	29			10																			
30				30	⊗	9	15	23	38																	

BORING LOG

Project No. : 1S.14093  
Project : GRAND DHIKA CITY  
Location : Jatiwarna, Bekasi - Jawa Barat

Sta & Offset : -  
Elevation : -  
GWL : -4.80 m  
Start Date : 14/07/2014  
Finish Date : 18/07/2014  
Bore Depth : 40.00 m  
Core Dia. : 7.30 cm  
Casing Dia. : 8.90 cm

Borhole Coord. :  
Driller : Ibnu Cs  
Hammer Type : Automatic Trip Hammer  
Energy (65 % - 75 %)

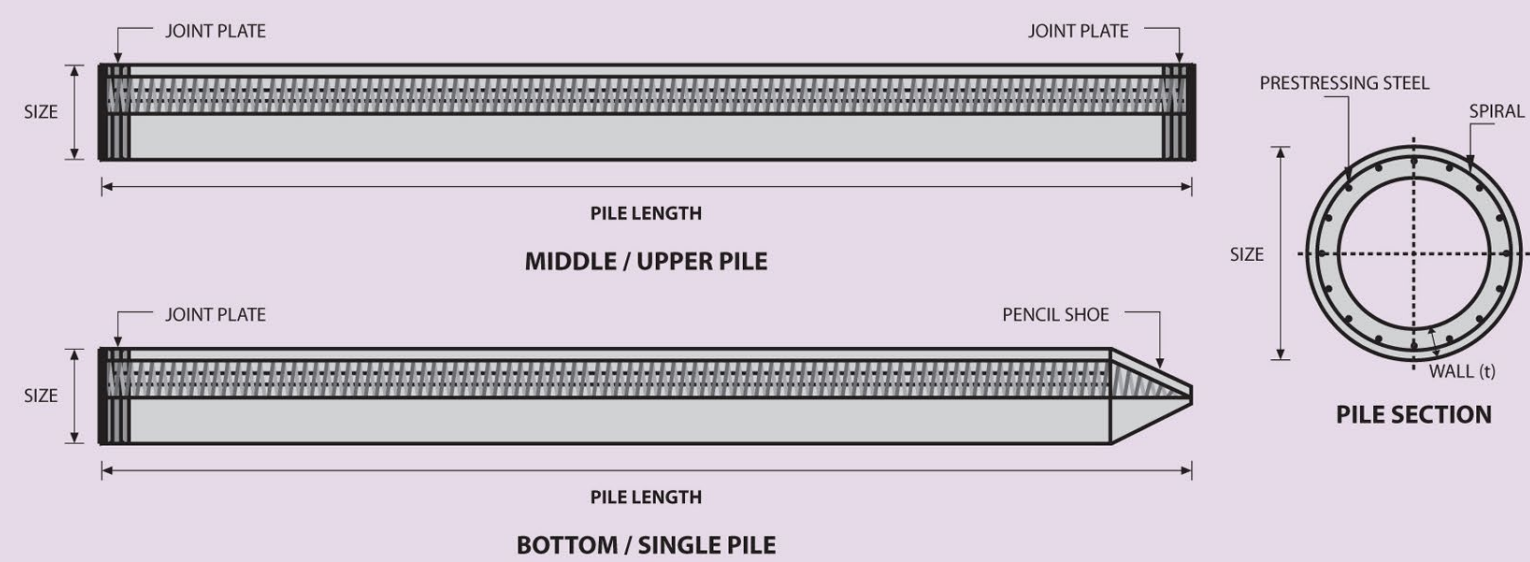
Log No.  
DB 1

Remarks :  
Shelby Tube ( UD )  
Disturbed Sample ( DS )  
Rock Core  
Split Spoon  
Casing  
Bag Sample

Depth (m)	Legend	Symbol	Description	Sampling		Standard Penetration Test										Laboratory Test																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
				Depth (m)	Sample	Blows Per Each 15 cm				N - Value						Strength Test				$\gamma_t$ t/m <sup>3</sup>	Gs	e <sub>s</sub>	Atterberg Limit (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
						N1	N2	N3	N	10	20	30	40	50	60	Type	$\frac{c}{\sigma}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi_u / \phi'$ (°)	$\sigma_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )				W <sub>n</sub>	LL	PL	LI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
31		SP	FINE SAND Black, wet, very dense, poorly graded	31																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										</



PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



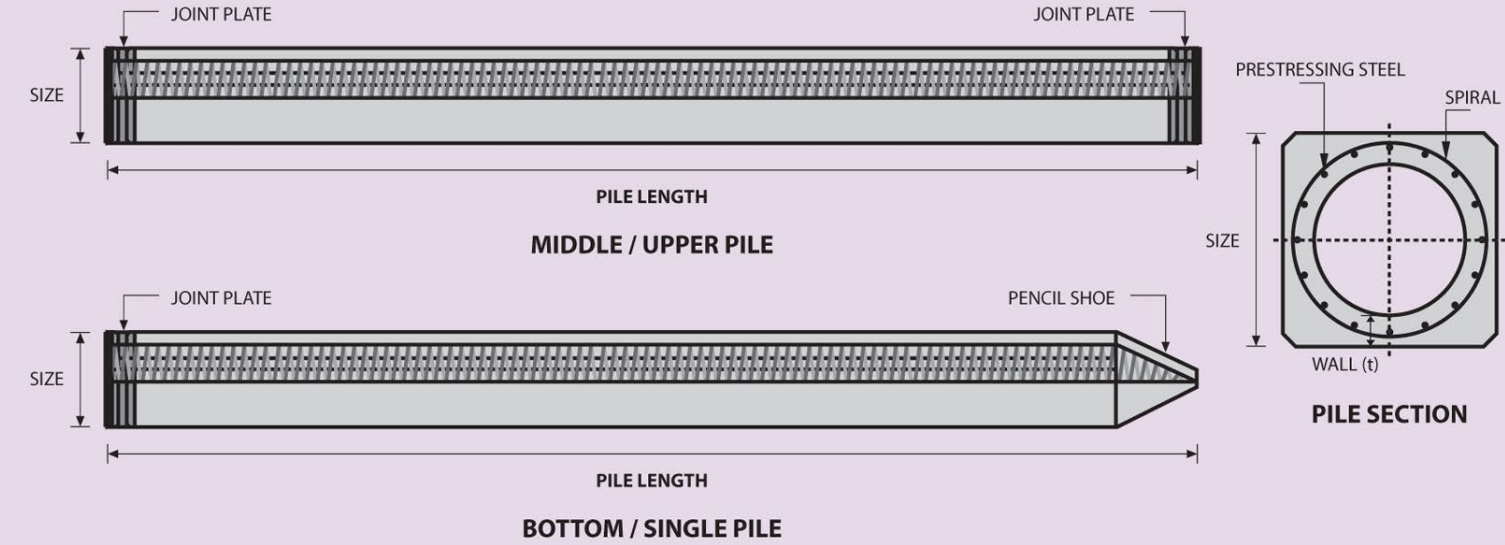
PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength  $f_c' = 52 \text{ MPa}$  (Cube  $600 \text{ kg/cm}^2$ )

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section ( $\text{cm}^2$ )	Section Inertia ( $\text{cm}^4$ )	Unit Weight ( $\text{kg/m}$ )	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Ultimate (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Note : \*) Crack Moment Based on JIS A 5335-1987 (Prestressed Spun Concrete Piles)  
\*\*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position  
\*\*\*) Type of Shoe for Bottom Pile is Mamira Shoe

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES



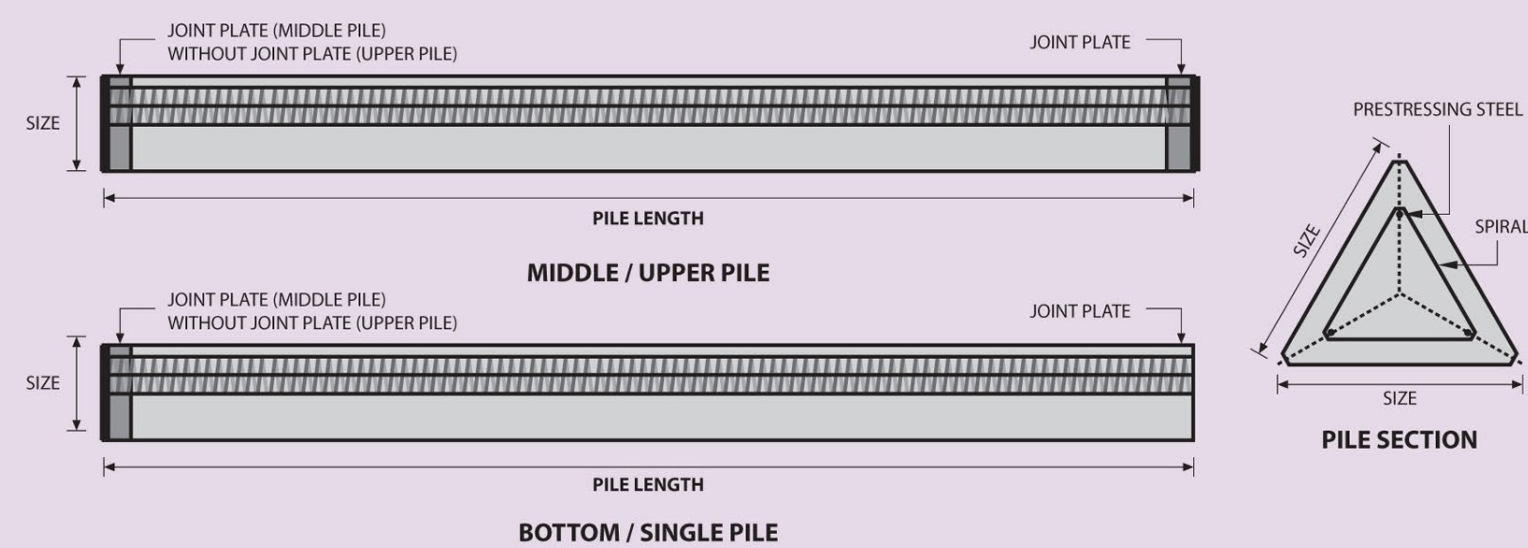
PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength  $f_c' = 52 \text{ MPa}$  (Cube  $600 \text{ kg/cm}^2$ )

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section ( $\text{cm}^2$ )	Section Inertia ( $\text{cm}^4$ )	Unit Weight ( $\text{kg/m}$ )	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile * (m)
						Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)			
400 X 400	75	1109.13	194,159	277	A2	6.50	10.00	182.63	38.00	6 - 13
					A3	8.00	12.00	180.62	45.30	6 - 14
					B	10.00	18.00	173.15	73.10	6 - 15
					C	11.00	22.00	169.49	91.70	6 - 16
450 X 450	80	1364.48	307,000	341	A1	8.50	12.50	227.01	38.20	6 - 13
					A2	11.00	17.00	222.95	52.90	6 - 15
					A3	13.00	20.90	219.05	67.10	6 - 16
					B	13.50	24.00	215.32	80.90	6 - 16
					C	15.50	31.00	208.10	114.00	6 - 16

Note : \*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES



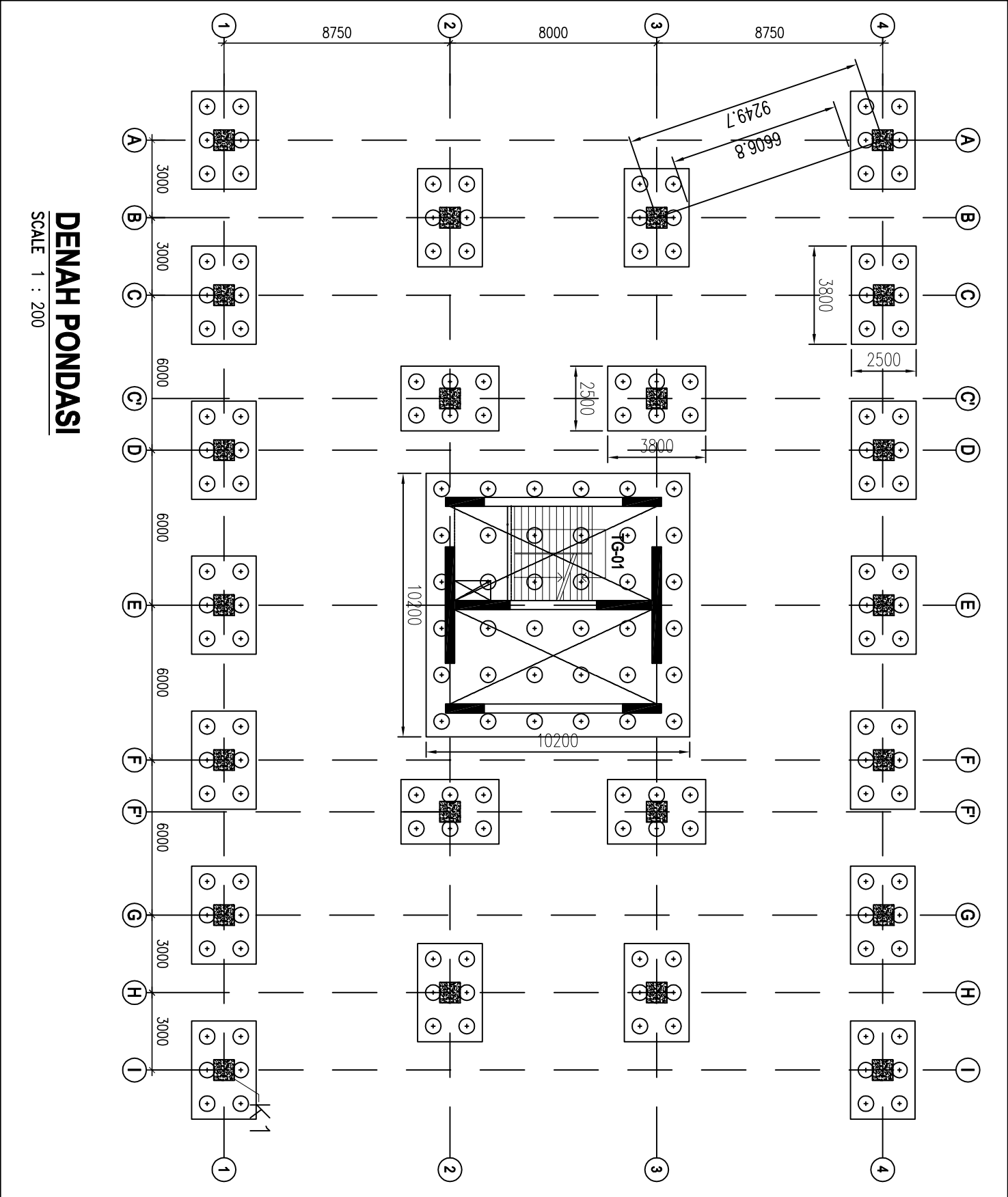
PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength  $f_c' = 42 \text{ MPa}$  (Cube  $500 \text{ kg/cm}^2$ )

Size (mm)	Cross Section ( $\text{cm}^2$ )	Section Inertia ( $\text{cm}^4$ )	Unit Weight ( $\text{kg/m}$ )	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Length of Pile * (m)
					Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)		
280	318.7	9,080.50	79.7	A	0.66	0.92	42.26	6 - 8
				B	0.90	1.77	39.50	6 - 9
320	422.6	16,188.90	105.7	A	0.89	1.11	57.02	6 - 8
				B	1.20	2.15	54.10	6 - 9

Note : \*) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position





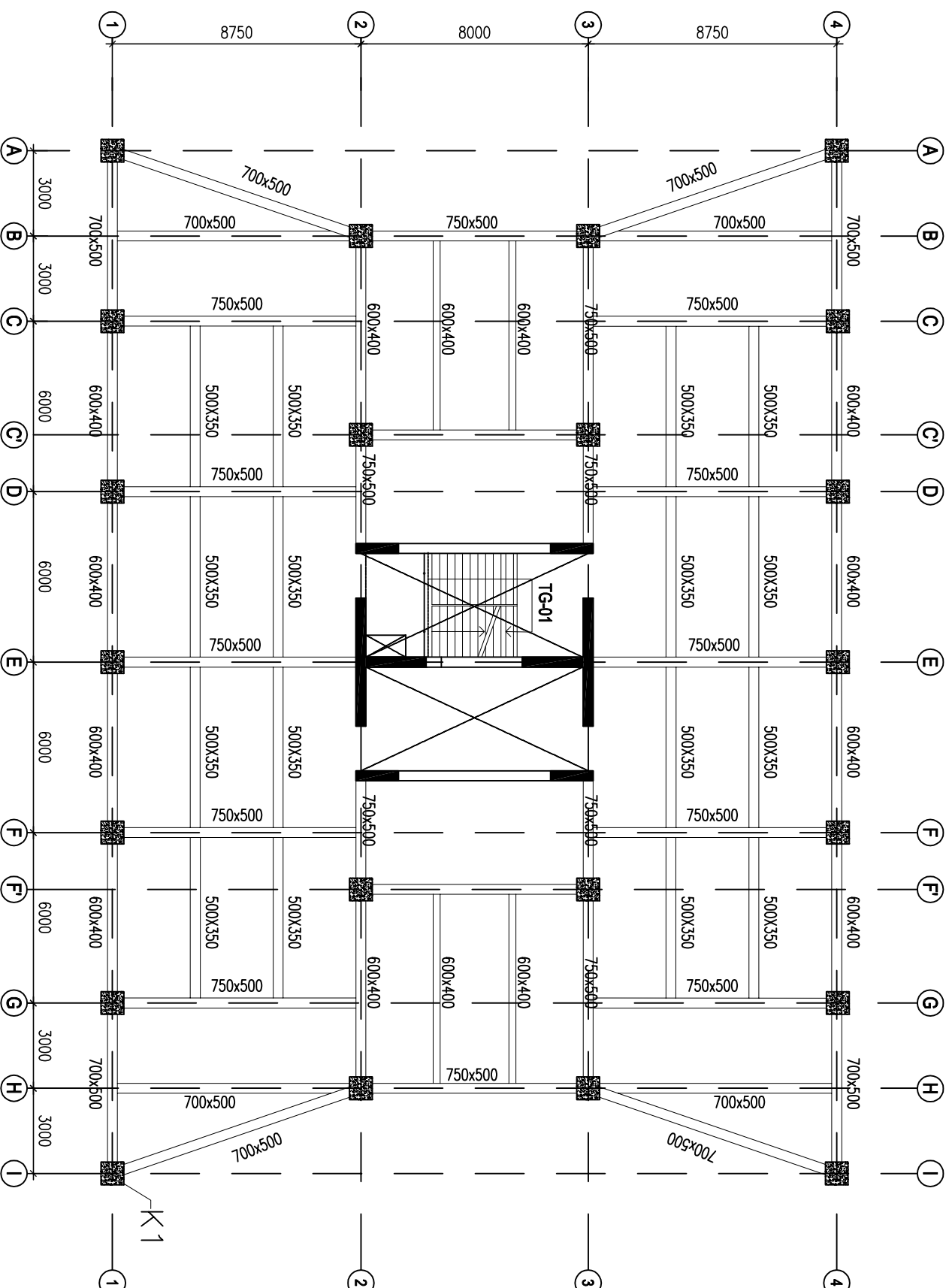
# DENAH PONDASI

SCALE 1 : 200

<div><div><b>ITS</b> Institut Teknologi Sepuluh Nopember</div></div>			<div><b>PROGRAM S-1</b> <b>JURUSAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FTSP-ITS</b></div>		
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>					
MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN GRAND KAMALA LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK					
<b>DOSEN PEMBIMBING</b>					
Prof. Ir. I G P Raka, DEA					
<b>MAHASISWA</b>					
AJI DICKY PERMANA					
<b>NRP</b>					
(3112100002)					
<b>JUDUL GAMBAR</b>					
DENAH PONDASI					
<b>NO. GMB</b>	<b>SKALA</b>	<b>KODE GMB</b>			
1	1:200	<b>STR</b>			

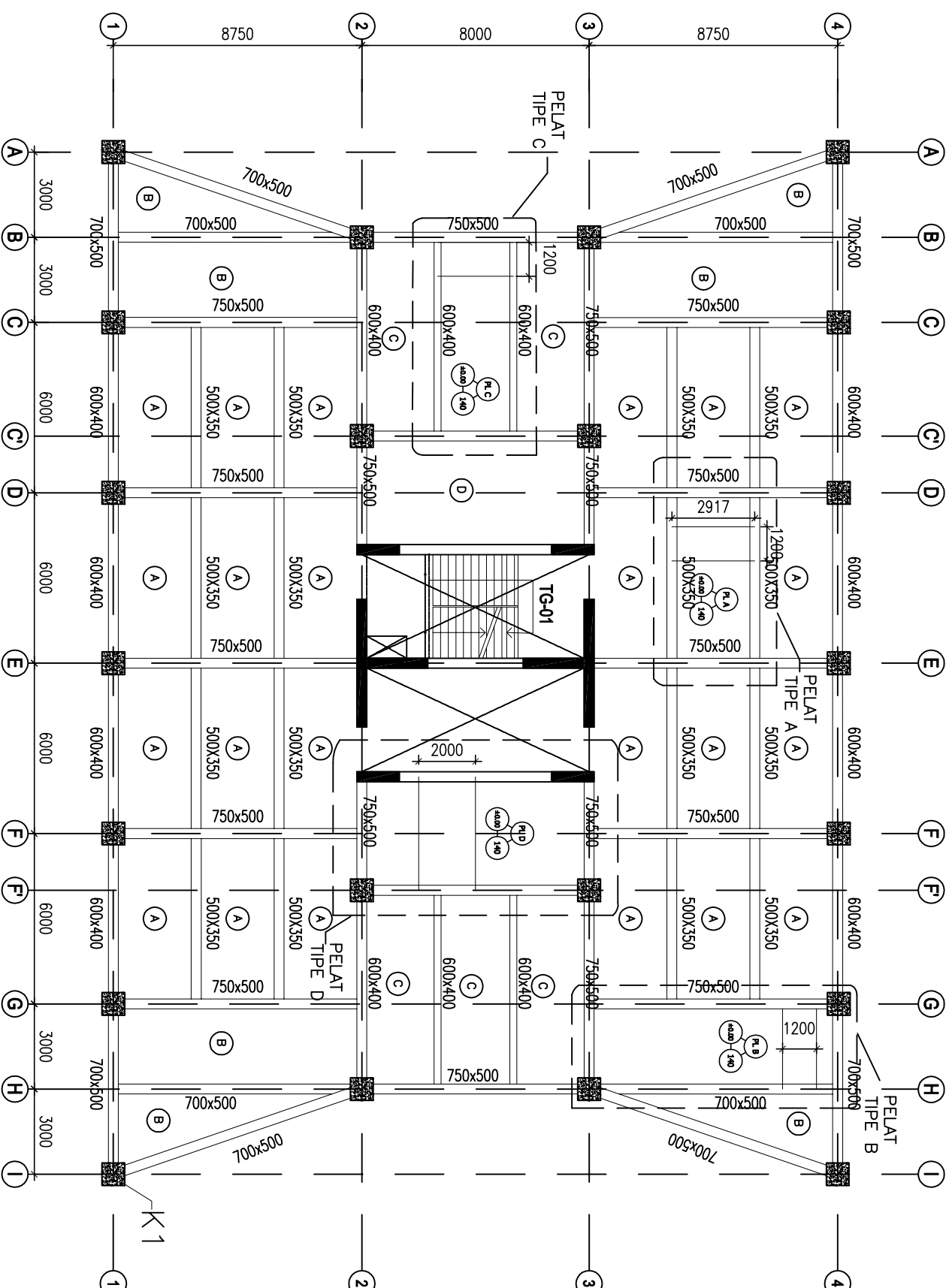
# DENAH BALOK DAN KOLOM LANTAI TIPIKAL

SCALE 1 : 200



Type Kolom	Lantai	Ukuran	Satuan
K1	Basement - 4	80 x 80	cm
K2	5 - 8	70 x 70	cm
K3	9 - 16	60 x 60	cm
K4	17 - 20	50 x 50	cm

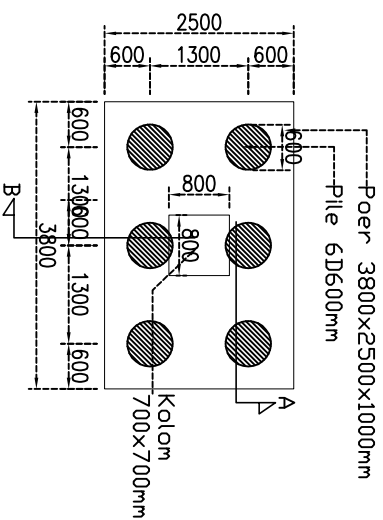




**DENAH PELAT LANTAI TIPIKAL**

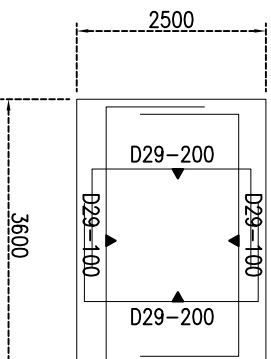
SCALE 1 : 200





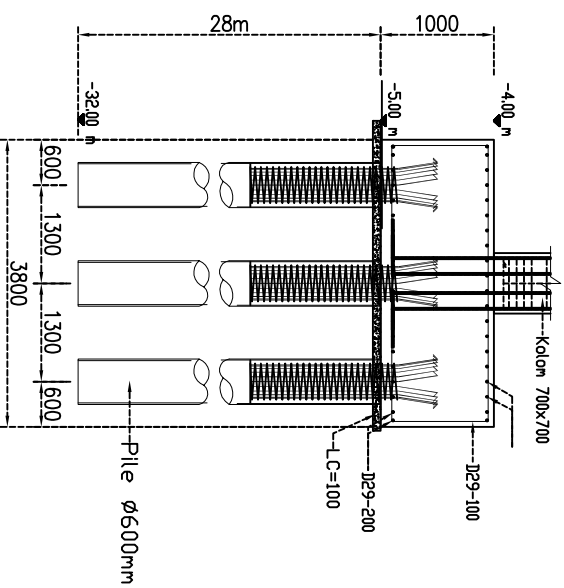
**POER (P1)**

Skala 1: 100



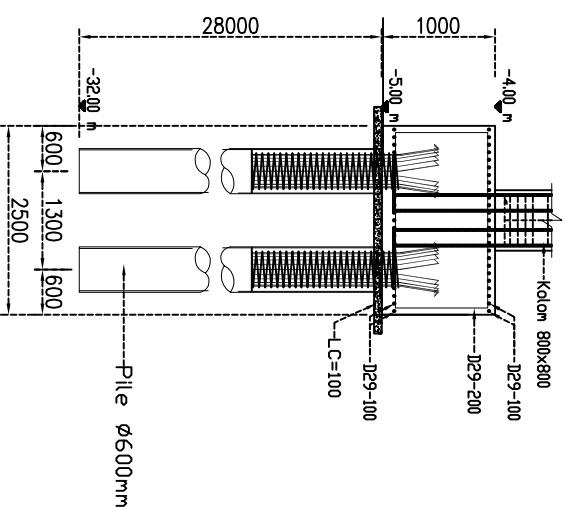
**PENULANGAN (P1)**

Skala 1: 100



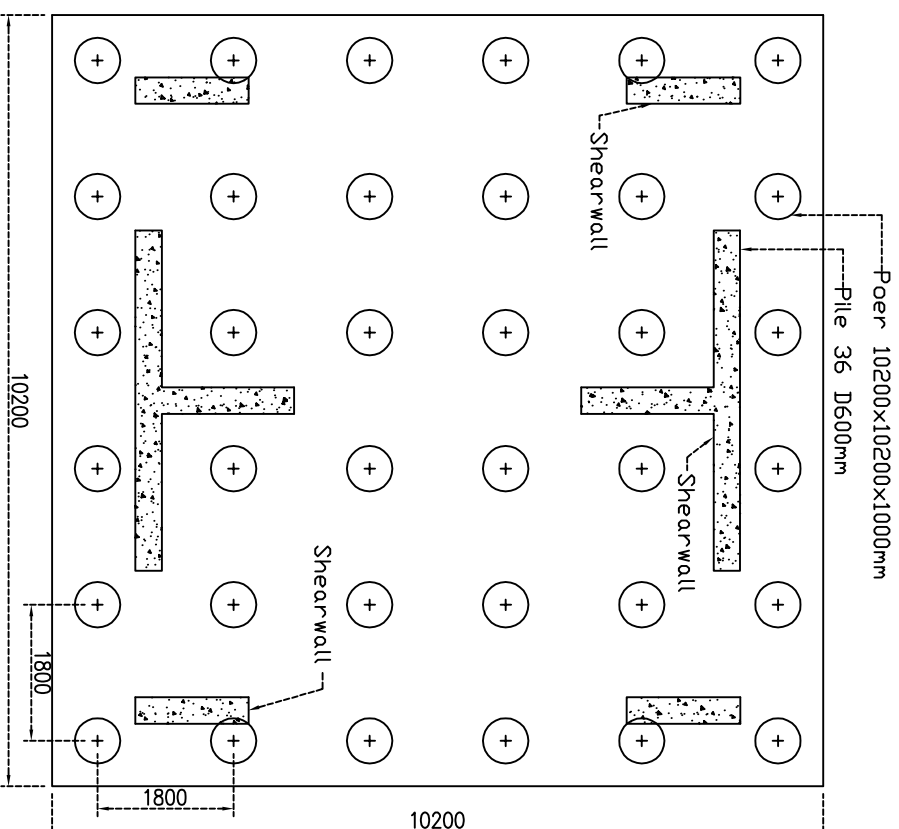
**POTONGAN A (P1)**

Skala 1: 100

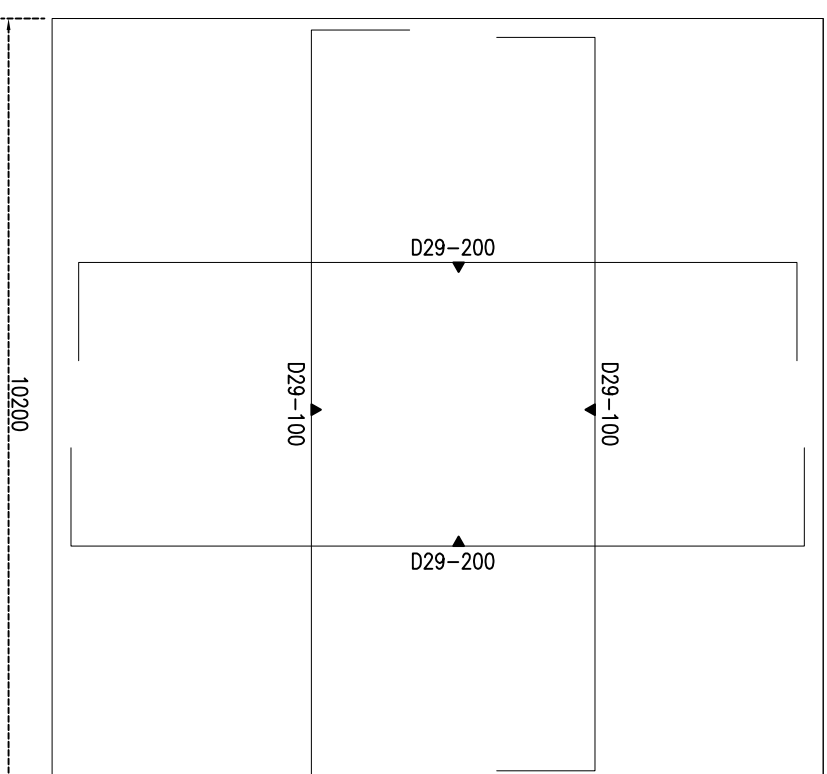


**POTONGAN B (P1)**

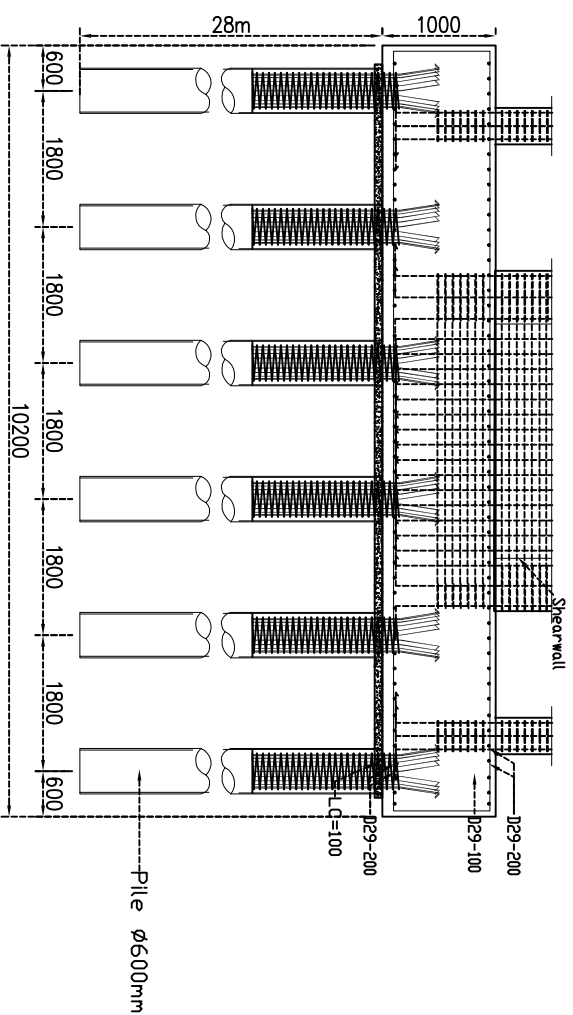
Skala 1: 100



**POER (P2)**  
Skala 1: 100

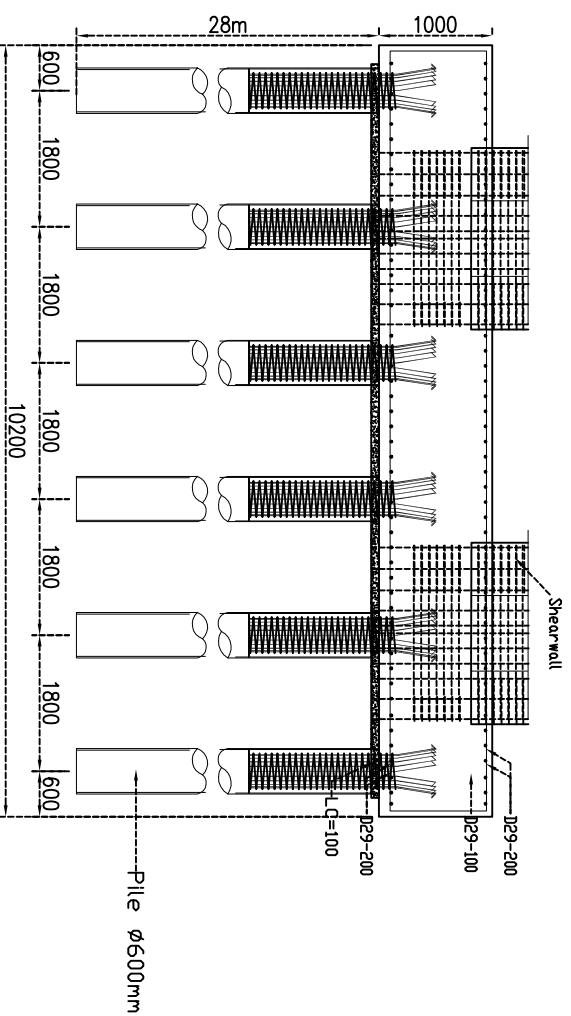


**PENULANGAN (P2)**  
Skala 1: 100



**POTONGAN A (P2)**

Skala 1: 100



**POTONGAN B (P2)**

Skala 1: 100



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AJI DICKY PERMANA

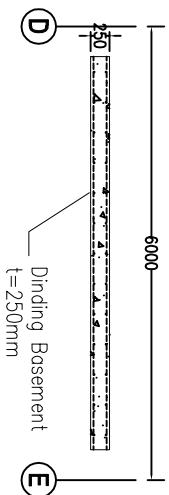
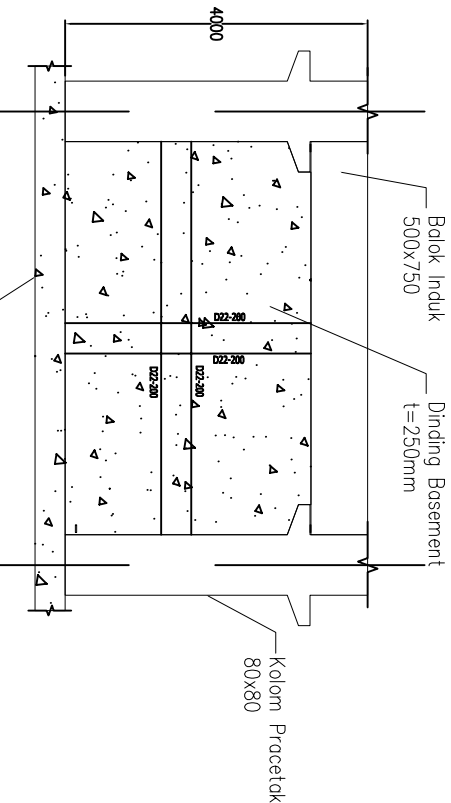
NRP

(3112100002)

JUDUL GAMBAR

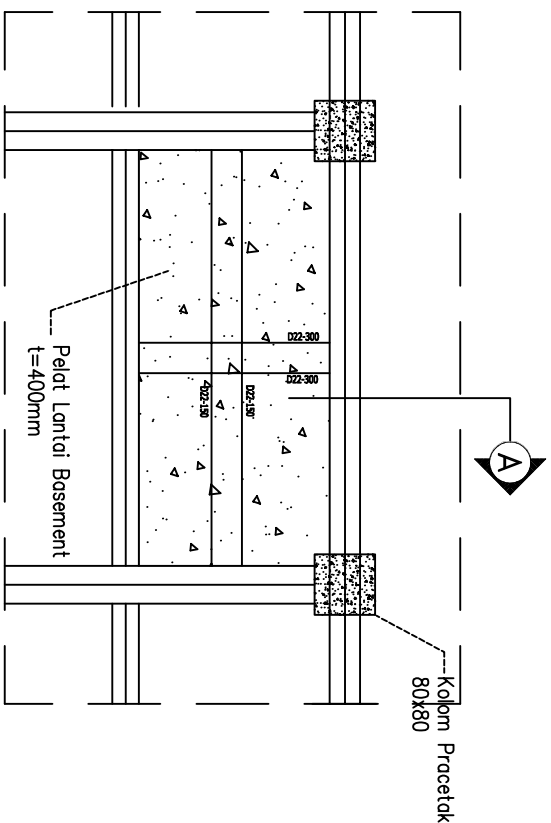
DETAIL PONDASI TIPE 2  
SHEARWALL (P2)

NO. GMB	SKALA	KODE GMB
7	1:100	STR



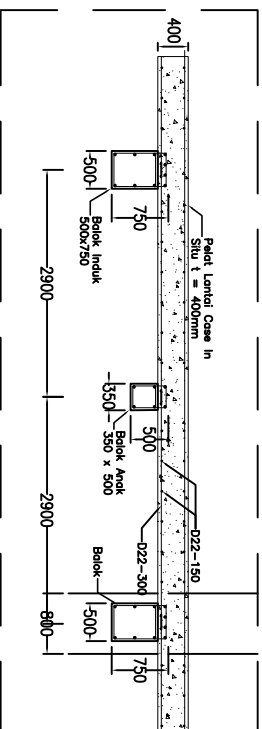
**DETAIL PELAT DINDING BASEMENT**

Skala 1: 50



**DETAIL PELAT LANTAI BASEMENT**

Skala 1: 50



**DETAIL PELAT LANTAI BASEMENT**

Skala 1: 50



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AJI DICKY PERMANA

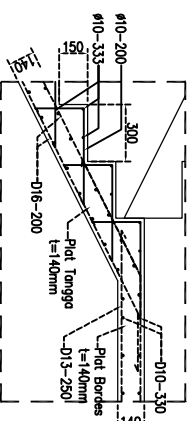
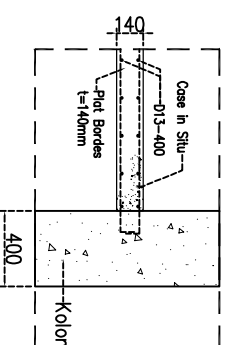
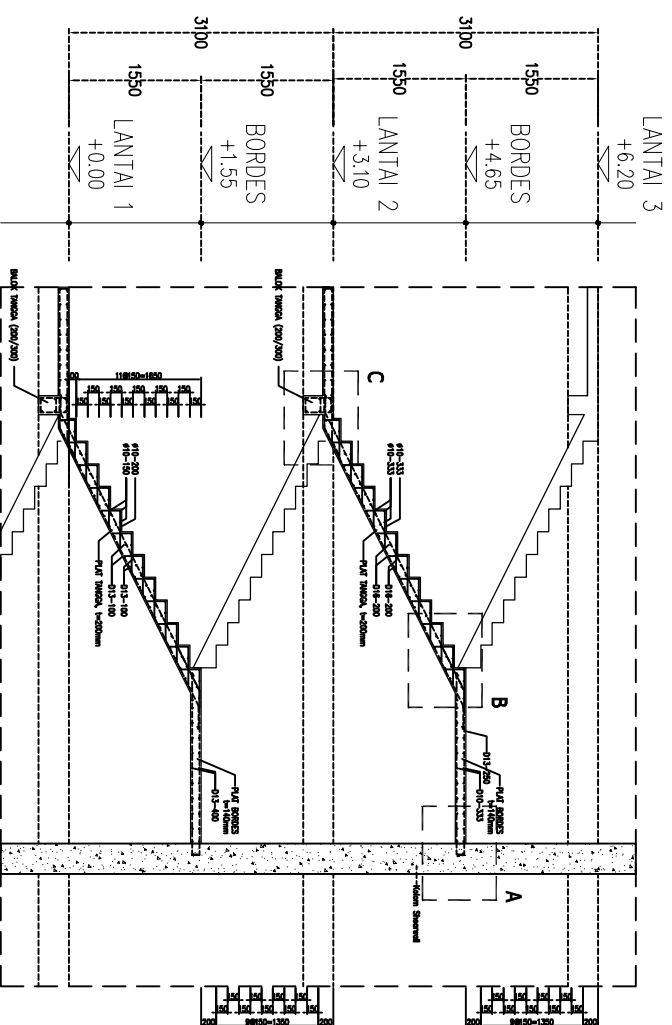
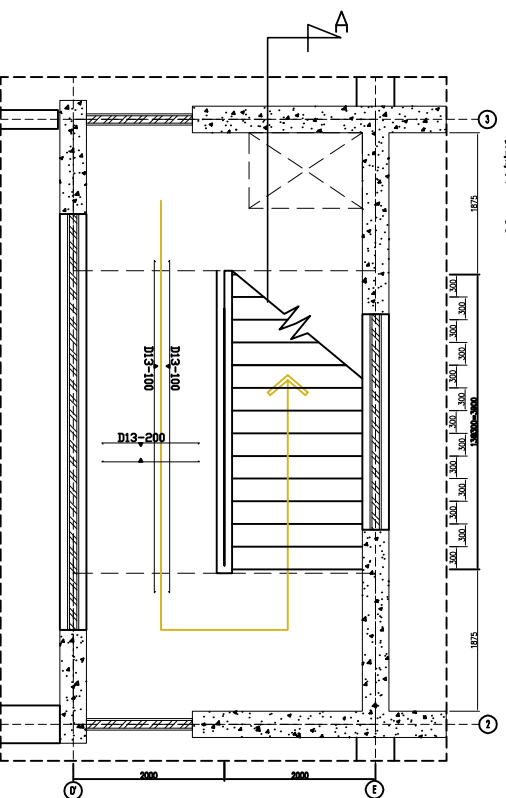
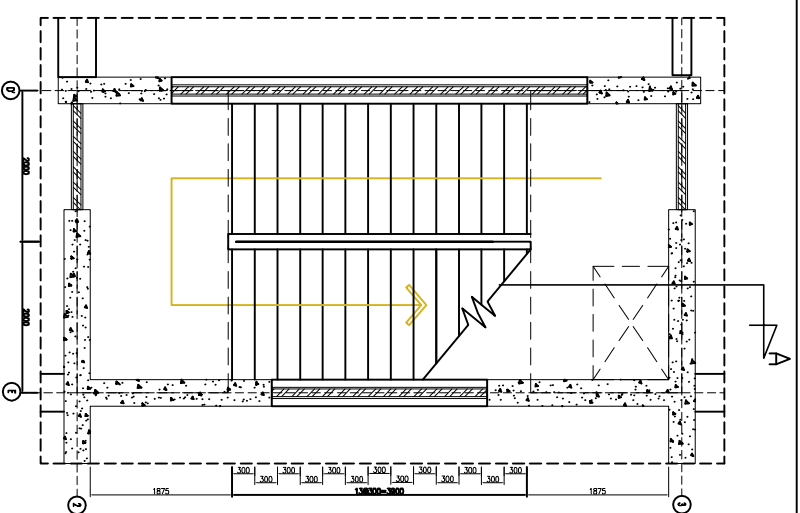
NRP


(3112100002)

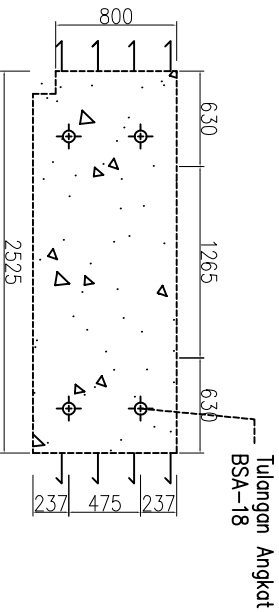
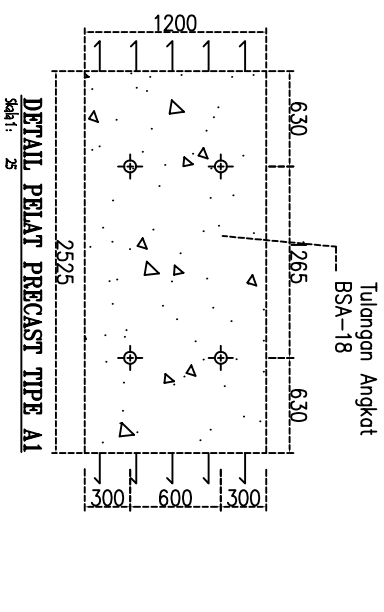
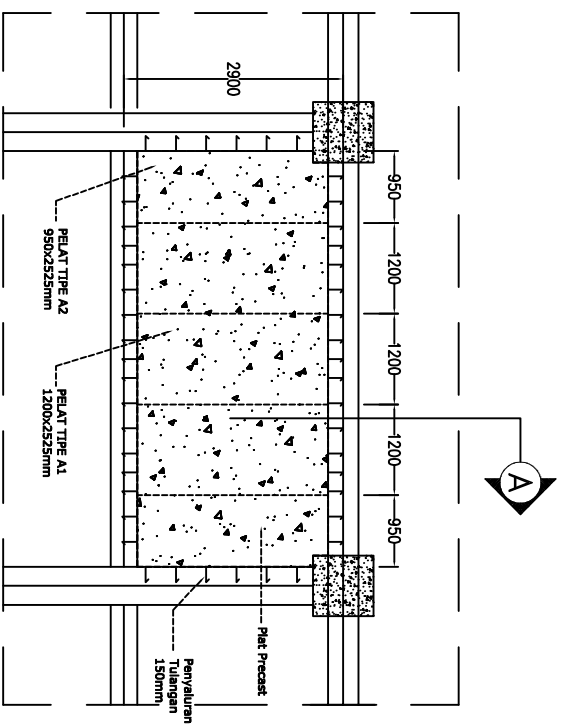
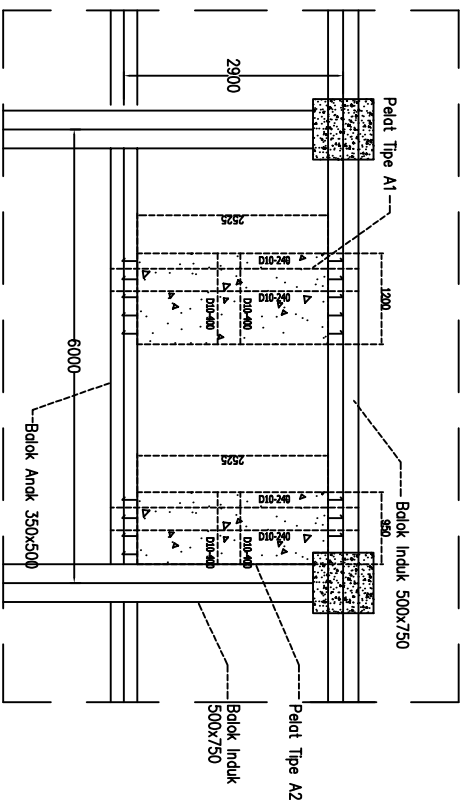
JUDUL GAMBAR

DETAIL BASEMENT

NO. GMB	SKALA	KODE GMB
8	1:50	STR

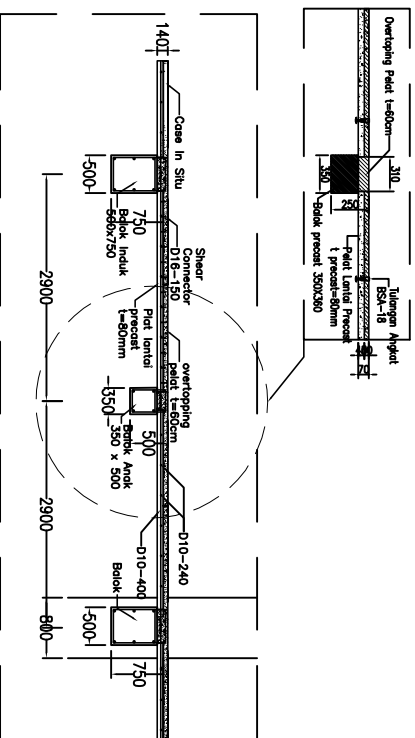



 <p><b>ITS</b> Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>		
<p><b>PROGRAM S-1</b> <b>JUSURAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FTSP-ITS</b></p>		
<p><b>JUDUL TUGAS AKHIR</b></p>		
<p><b>MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN GRAND KAMALA LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK</b></p>		
<p><b>DOSEN PEMBIMBING</b></p>		
<p><b>Prof. Ir. I G P Raka, DEA</b></p>		
<p><b>MAHASISWA</b></p>		
<p><b>AJI DICKY PERMANA</b></p>		
<p><b>NRP</b></p>		
<p><b>(3112100002)</b></p>		
<p><b>JUDUL GAMBAR</b></p>		
<p><b>DENAH TANGGA</b></p>		
<b>NO. GMB</b>	<b>SKALA</b>	<b>KODE GMB</b>
9	1:50	<b>STR</b>



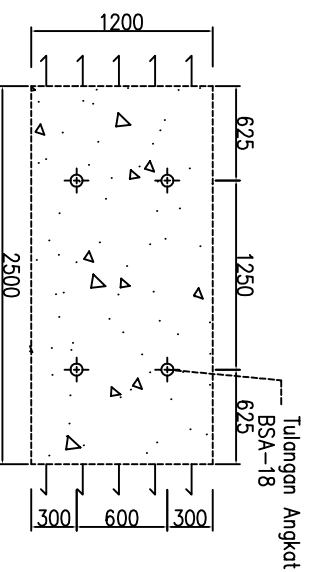
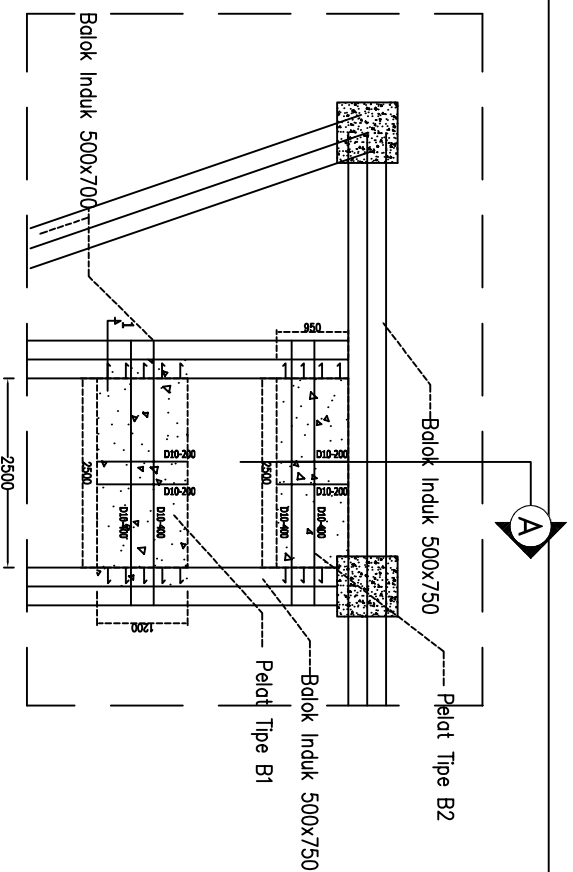
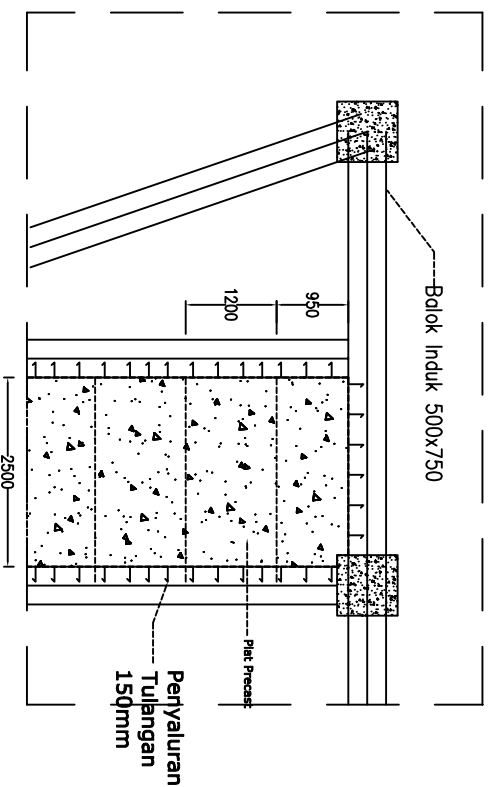
Type Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang			Sud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Peninggi	Tulangan Over topping			
A	2,525	1,2	D10-240	D10-400	D10-400	90°-150	150	Ø10
B	2,5	1,2	D10-200	D10-400	D10-400	90°-150	150	Ø10
C	2,22	9,4	D10-240	D10-400	D10-400	90°-150	150	Ø10
D	3,575	1,5	D10-150	D10-400	D10-400	90°-150	150	Ø10

**POT. A DETAIL PRECAST DAN OVERTOPING PELAT A**  
Skala: 100



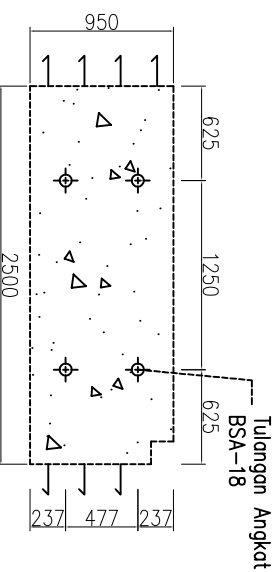
 <p> <b>PROGAM S-1</b>  <b>JUSURAN TEKNIK SIPIL</b>  <b>FTSP-ITS</b> </p>			<p><b>JUDUL TUGAS AKHIR</b></p>		
<p> <b>MODIFIKASI PERENCANAAN</b>  <b>APARTEMEN GRAND KAMALA</b>  <b>LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN</b>  <b>METODE BETON PRACETAK</b> </p>			<p><b>DOSEN PEMBIMBING</b></p>		
<p><b>Prof. Ir. I G P Raka, DEA</b></p>			<p><b>MAHASISWA</b></p>		
<p><b>AI DICKY PERMANA</b></p>			<p><b>NRP</b></p>		
<p><b>(3112100002)</b></p>			<p><b>JUDUL GAMBAR</b></p>		
<p><b>DETAIL PELAT TYPE A</b></p>			<p><b>NO. GMB</b></p>		
<p><b>10</b></p>			<p><b>SKALA</b></p>		
<p><b>1:100</b></p>			<p><b>KODE GMB</b></p>		
<p><b>STR</b></p>					





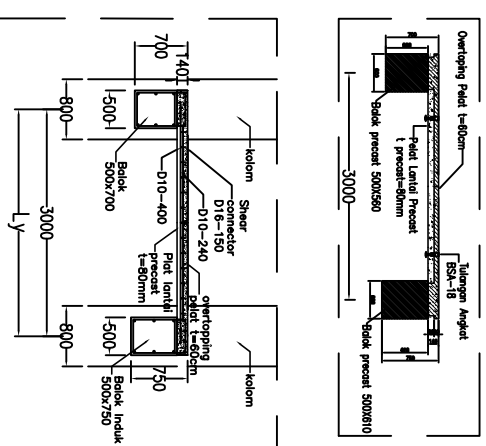
**DETAIL PELAT PRECAST TYPE B1**

Skala: 25



**DETAIL PELAT PRECAST TYPE B2**

Skala: 25



**POT. 2 DETAIL PRECAST DAN OVERTOPING PELAT B**

Skala: 100

Tipe Pelat	Ukuran Pelat	Tulangan Tumpuan				Sudut	Panjang Penyuluran (mm)	Tulangan Angkat
		Panjang (m)	Lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembiagi	Tulangan Over topping		
A	2.525	1.2	D10-240	D10-400	D10-400	D10-150	150	Ø10
B	2.5	1.2	D10-200	D10-400	D10-400	D10-150	150	Ø10
C	2.22	9.4	D10-240	D10-400	D10-400	D10-150	150	Ø10
D	3.575	1.5	D10-150	D10-400	D10-400	D10-150	150	Ø10



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AJI DICKY PERMANA

NRP

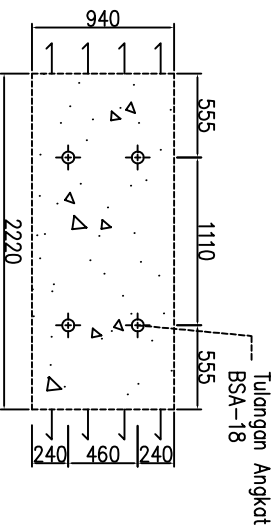
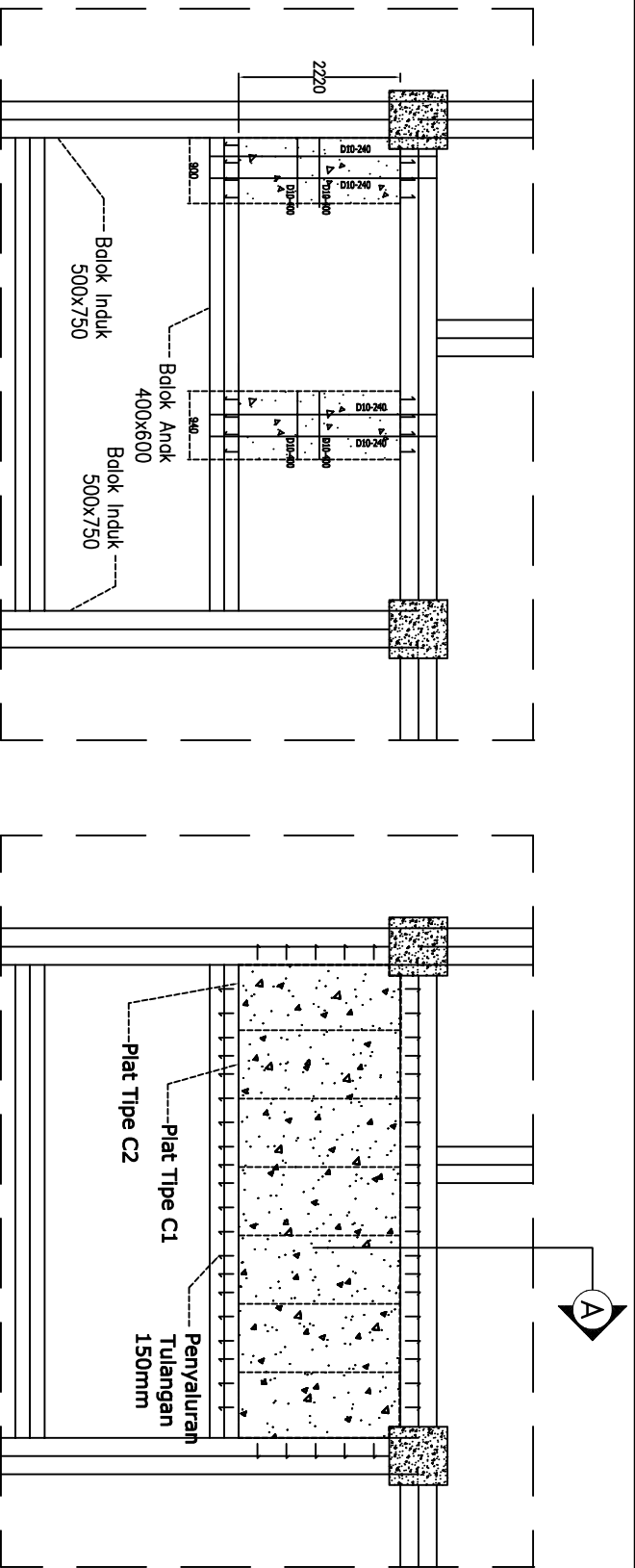
(3112100002)

JUDUL GAMBAR

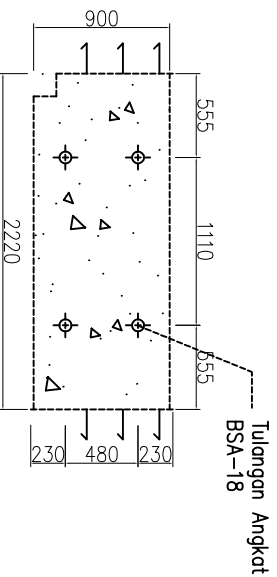
DETAIL PELAT TYPE B

NO. GMB SKALA KODE GMB

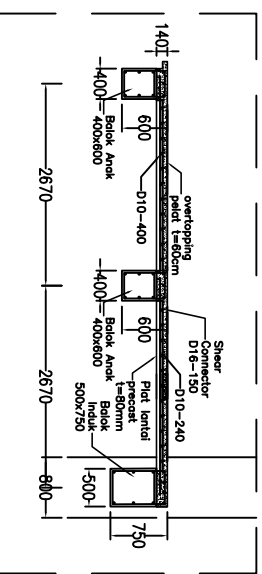
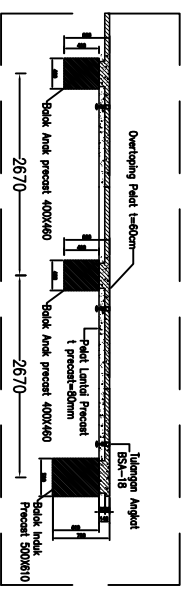
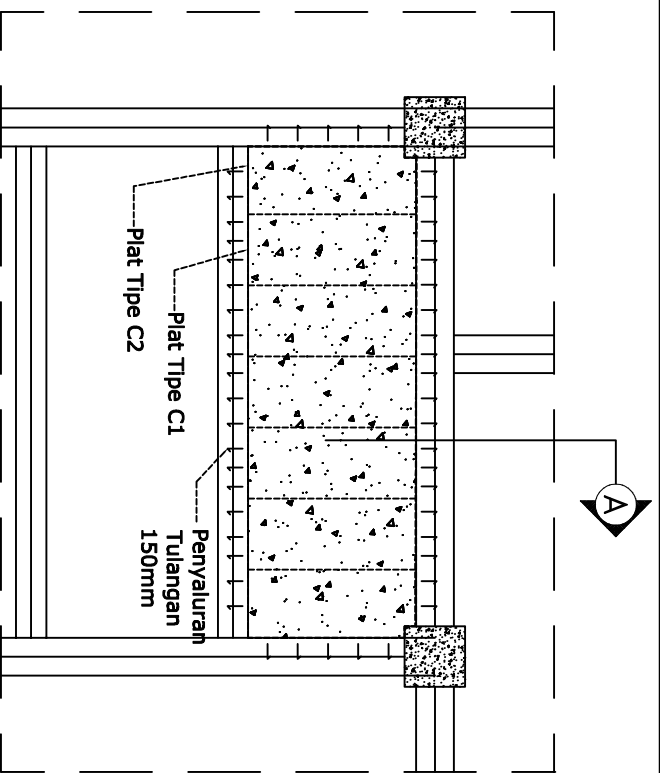
11 1:100 STR



**DETAIL PELAT PRECAST TYPE C1**  
Skala: 1: 25



**DETAIL PELAT PRECAST TYPE B2**  
Skala: 1: 25



**POT. A DETAIL PRECAST DAN OVERTOPING PELAT C**  
Skala: 1: 100

Type Pelat	Ukuran Pelat	Tulangan Terasang			Stad	Panjang Penyisiran (mm)	Tulangan Angkat
	Panjang(m) x Lebar (m)	Tulangan Lintang	Tulangan Panjang	Tulangan Overlapping			
A	2,525	D10-240	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10
B	2,5	D10-200	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10
C	2,22	D10-240	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10
D	3,575	D10-150	D10-400	D10-400	Ø10-150	150	Ø10



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AI I DICKY PERMANA

NRP

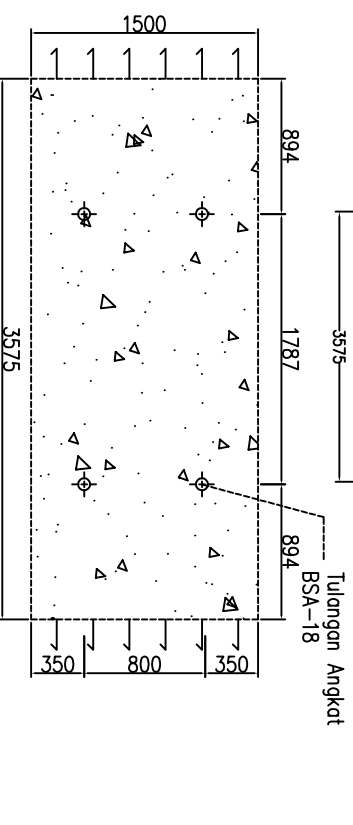
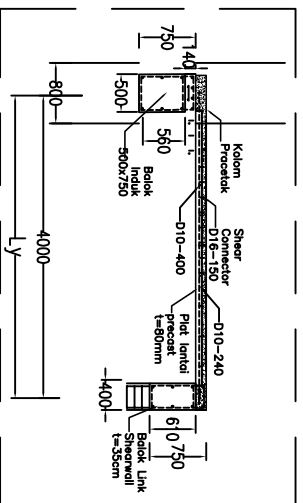
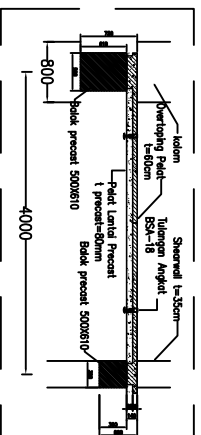
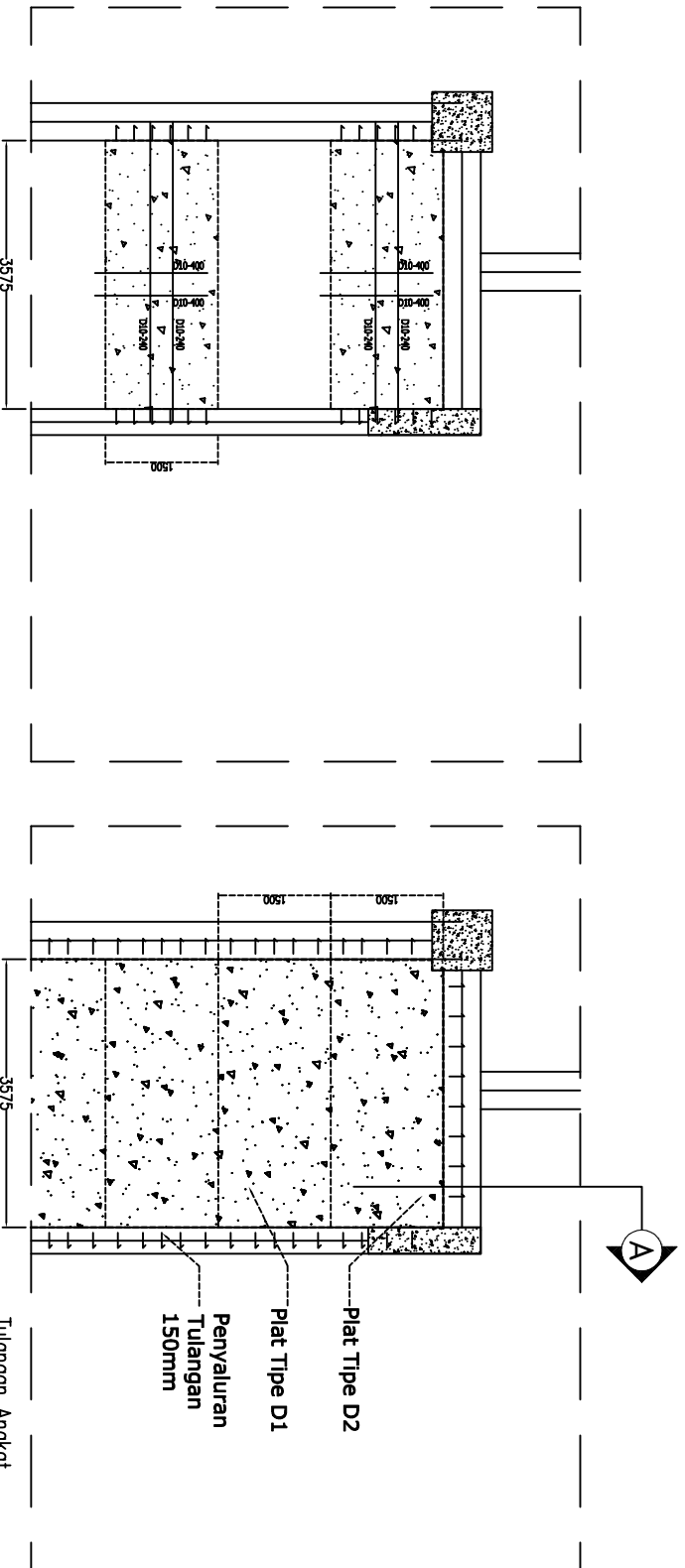
(3112100002)

JUDUL GAMBAR

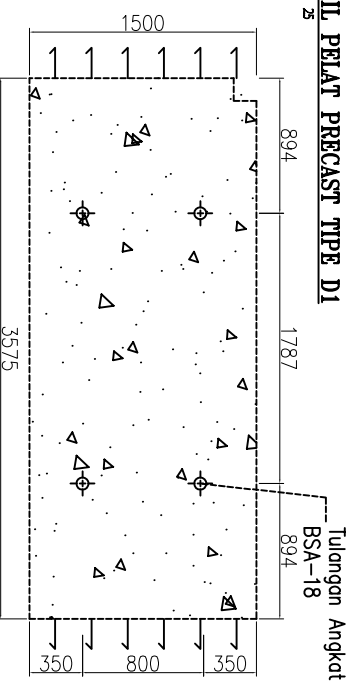
DETAIL PELAT TYPE C

NO. GMB SKALA KODE GMB

12 1:100 STR



**DETAIL PELAT PRECAST TYPE D1**  
Skala: 25



**DETAIL PELAT PRECAST TYPE D2**  
Skala: 25

## POT. A DETAIL PRECAST DAN OVERTOPING PELAT D

Skala: 100

Type Pelat	Ukuran Pelat	Tulangan Terpasang			Sud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
A	2.525	1.2	D10-240	3 tulangan Penbagi	D10-400	150	010
B	2.5	1.2	D10-240	3 tulangan Penbagi	D10-400	150	010
C	2.22	9.4	D10-240	3 tulangan Penbagi	D10-400	150	010
D	3.575	1.5	D10-150	3 tulangan Penbagi	D10-400	150	010


TABEL PENULANGAN BALOK INDUK						
KODE	B1.1		B1.2		B1.3	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA						
KETERANGAN						
PENAMPANG BALOK	500 mm x 750 mm		500 mm x 700 mm		400 mm x 600 mm	
DEKING	30 mm		30 mm		30 mm	
ATAS	4 D29	2 D29	3 D29	2 D29	3 D25	2 D25
TENGAH	4 D29	4 D29	4 D29	4 D29	2 D25	2 D25
BAWAH	2 D29	3 D29	2 D29	3 D29	2 D25	2 D25
BEGEL	2D13 - 100	2D13 - 200	2D13 - 100	2D13 - 200	2D13 - 100	2D13 - 200

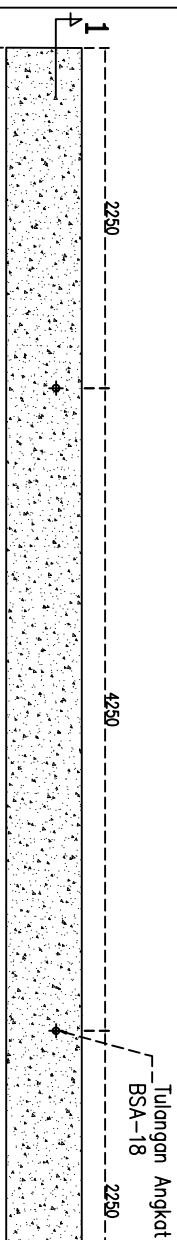
TABEL PENULANGAN BALOK ANAK

KODE	BA.1		BA.2	
KONDISI	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN	TULANGAN LAPANGAN
SKETSA				
KETERANGAN				
PENAMPANG BALOK	400 mm x 600 mm			
DEKING	30 mm			
ATAS	3 D16	2 D16	3 D16	2 D16
TENGAH	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
BAWAH	2 D16	3 D16	2 D16	3 D16
BEGEL	2D10 - 100	2D10 - 200	2D10 - 100	2D10 - 200

## DETAIL PERENCANAAN BALOK INDUK DAN BALOK ANAK

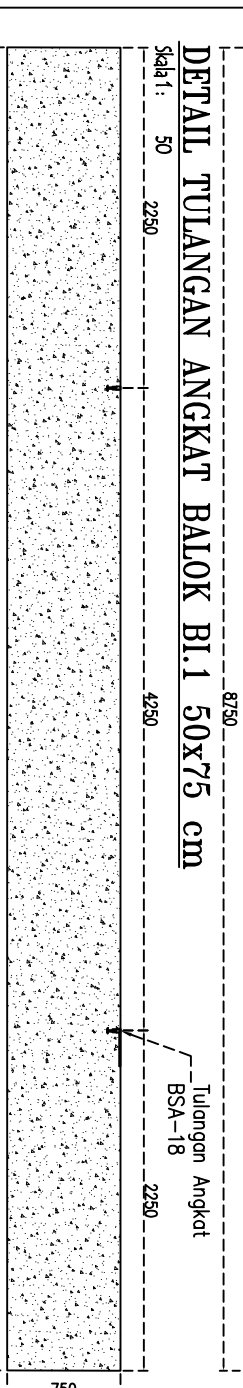
Skala: 1: 50

 <p> <b>ITS</b>            Institut Teknologi Sepuluh Nopember         </p>		
<p> <b>PROGRAM S-1</b>  <b>JUSURAN TEKNIK SIPIL</b>  <b>FTSP-ITS</b> </p>		
<p><b>JUDUL TUGAS AKHIR</b></p>		
<p> <b>MODIFIKASI PERENCANAAN</b>  <b>APARTEMEN GRAND KAMALA</b>  <b>LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN</b>  <b>METODE BETON PRACETAK</b> </p>		
<p><b>DOSEN PEMBIMBING</b></p>		
<p><b>Prof. Ir. I G P Raka, DEA</b></p>		
<p><b>MAHASISWA</b></p>		
<p><b>AJI DICKY PERMANA</b></p>		
<p><b>NRP</b></p>		
<p><b>(3112100002)</b></p>		
<p><b>JUDUL GAMBAR</b></p>		
<p> <b>DETAIL REKAPITULASI</b>  <b>TULANGAN BALOK</b> </p>		
<b>NO. GMB</b>	<b>SKALA</b>	<b>KODE GMB</b>
1.4	1:50	STR



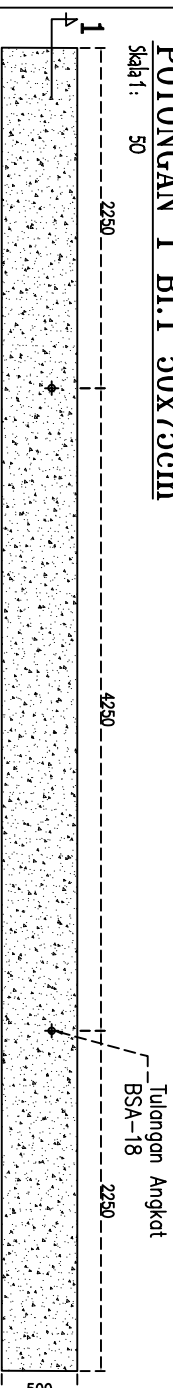
**DETAIL TULANGAN ANGKAT BALOK BI.1 50x75 cm**

Skala 1: 50



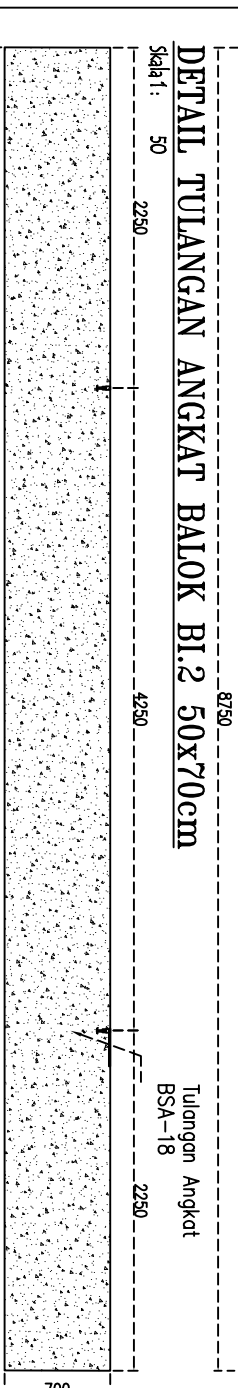
**POTONGAN 1 BI.1 50x75cm**

Skala 1: 50



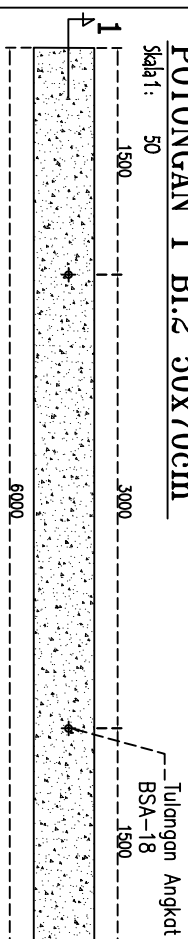
**DETAIL TULANGAN ANGKAT BALOK BI.2 50x70cm**

Skala 1: 50



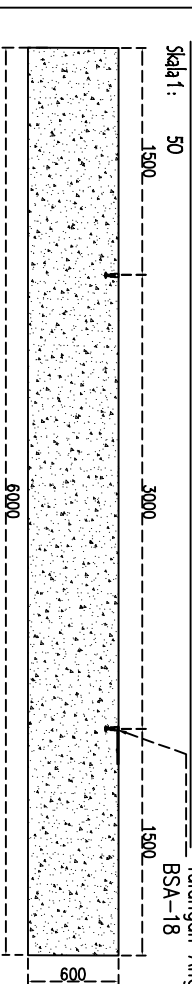
**POTONGAN 1 BI.2 50x70cm**

Skala 1: 50



**DETAIL TULANGAN ANGKAT BALOK BI.3 40x60cm**

Skala 1: 50

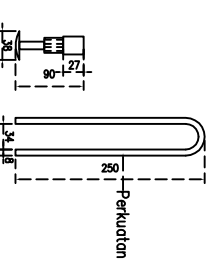


**POTONGAN 1 BI.3 40x60cm**

Skala 1: 50

**DETAIL TULANGAN ANGKAT BSA-18**

Skala 1: 10



**Table 15. Dimensions of BSA-18 (mm)**

Bar No.	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Weight (kg)	Volume (m³)	Area (mm²)	Perimeter (mm)	Radius (mm)	Thickness (mm)	Weight (kg)	Volume (m³)	Area (mm²)	Perimeter (mm)	Radius (mm)	Thickness (mm)
1	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
2	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
3	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
4	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
5	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
6	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
7	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
8	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
9	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
10	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
11	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
12	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
13	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
14	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
15	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
16	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
17	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
18	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
19	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
20	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
21	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
22	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
23	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
24	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
25	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
26	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
27	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
28	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
29	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
30	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
31	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
32	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
33	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
34	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
35	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
36	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
37	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
38	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
39	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
40	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
41	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
42	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
43	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
44	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
45	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
46	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
47	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
48	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
49	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
50	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
51	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
52	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
53	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
54	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
55	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
56	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
57	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
58	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
59	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
60	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
61	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
62	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
63	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
64	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
65	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
66	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
67	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
68	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
69	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5
70	300	18	18	0.0001	0.0001	254	113	36	1.5	0.0001	0.0001	254	113	36	1.



# MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN GRAND KAMALA LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK

**Prof. Ir. I G P Raka, DEA**

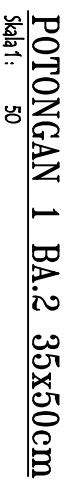
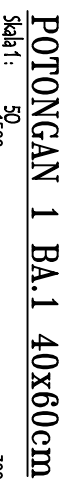
**AJI DICKY PERMANA**

(3112100002)

## DETAIL PENGANGKATAN BALOK ANAK PRACETAK

NO. GMB	SKALA	KODE GMB
---------	-------	----------

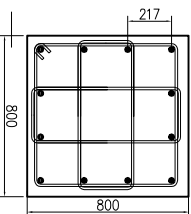
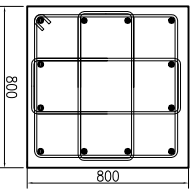
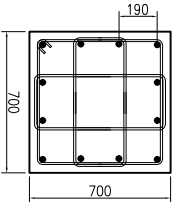
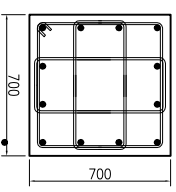
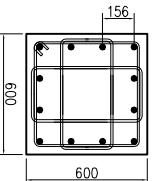
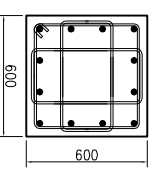
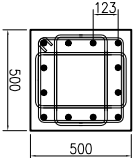
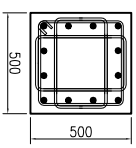
STR



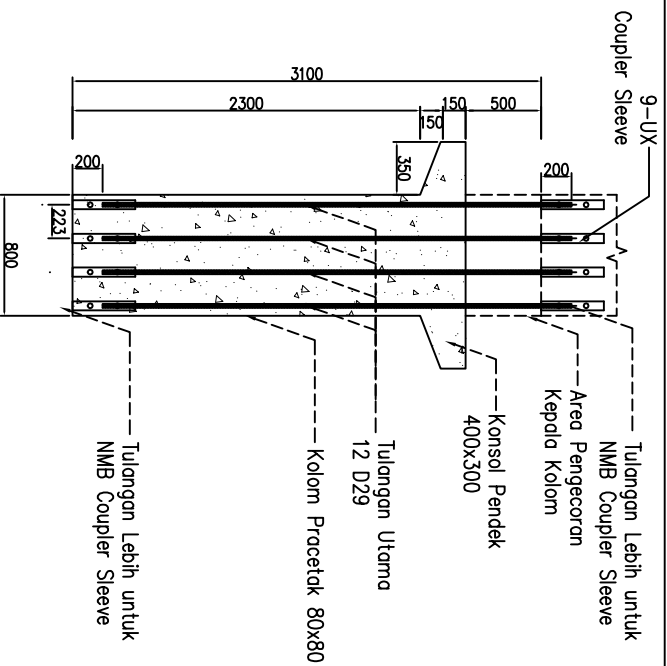
Dimensions										
Item No.	RELW	OD	$\delta$	OD <sub>1</sub>	OD <sub>2</sub>	$\delta$	OD <sub>3</sub>	OD <sub>4</sub>	OD <sub>5</sub>	Item No.
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
12	14	18.0	22	8	24	26.95	4	165	60	30
14	16	18.0	22	8	24	26.95	4	165	60	30
16	18	24.0	27	12	30	30.90	4	175	80	35
18	18	24.0	27	12	30	30.90	4	175	80	35
20	20	21.0	33	14	36	40.90	5	265	100	47
24	24	21.0	33	14	36	40.90	5	275	105	54
26	26	42.0	58	20	46	80.00	6	350	140	72
36	36	42.0	58	20	46	80.00	6	350	140	72
42	42	54.0	80	28	54	100.00	8	500	190	117
52	52	63.0	100			120.00	10			

# DETAIL PERENCANAAN KOLOM

Skala 1 : 50

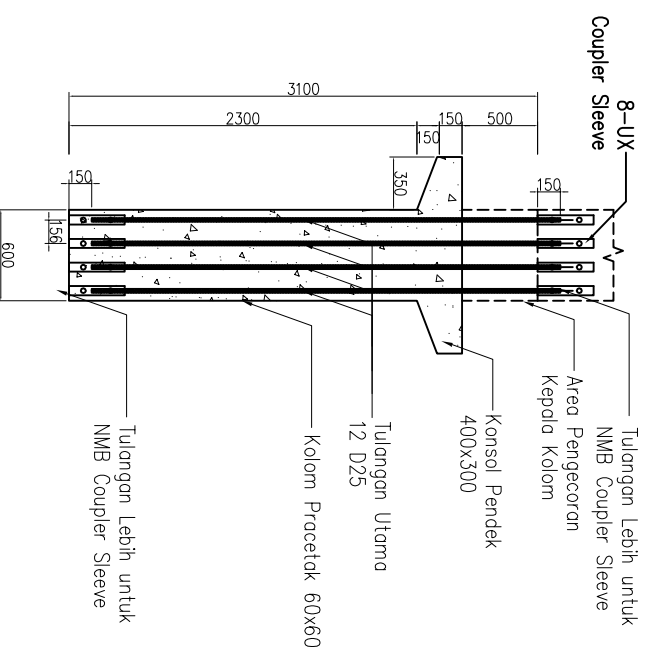
KINDISI	K1		K2	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI basement s/d LANTAI 20				
PENAMPANG KOLOM	800 mm x 800 mm	800 mm x 800 mm	700 mm x 700 mm	700 mm x 700 mm
TULANGAN	12 D29	12 D29	12 D29	12 D29
BEGEL	D16 - 100	D16 - 150	D16 - 100	D16 - 150
KINDISI	K3		K4	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI basement s/d LANTAI 20				
PENAMPANG KOLOM	600 mm x 600 mm	600 mm x 600 mm	500 mm x 500 mm	500 mm x 500 mm
TULANGAN	12 D25	12 D25	12 D25	12 D25
BEGEL	D16 - 100	D16 - 150	D16 - 100	D16 - 150





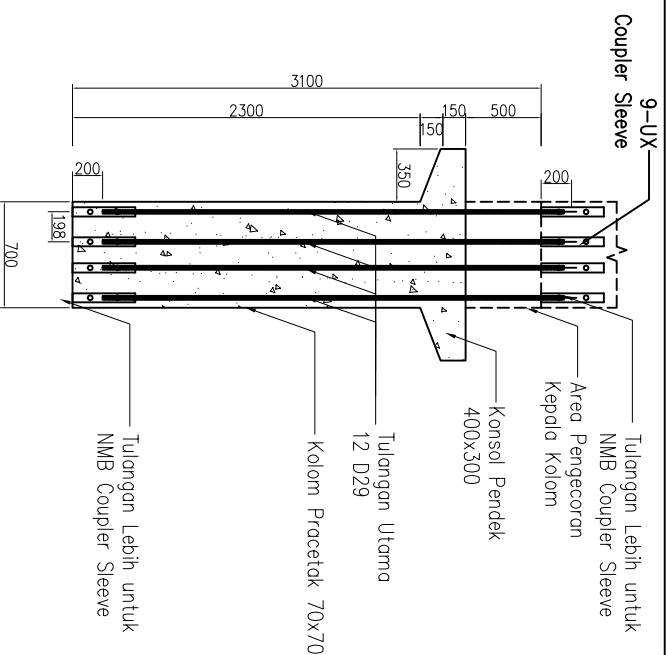
**Kolom Pracetak 80x80**

Skala 1: 50



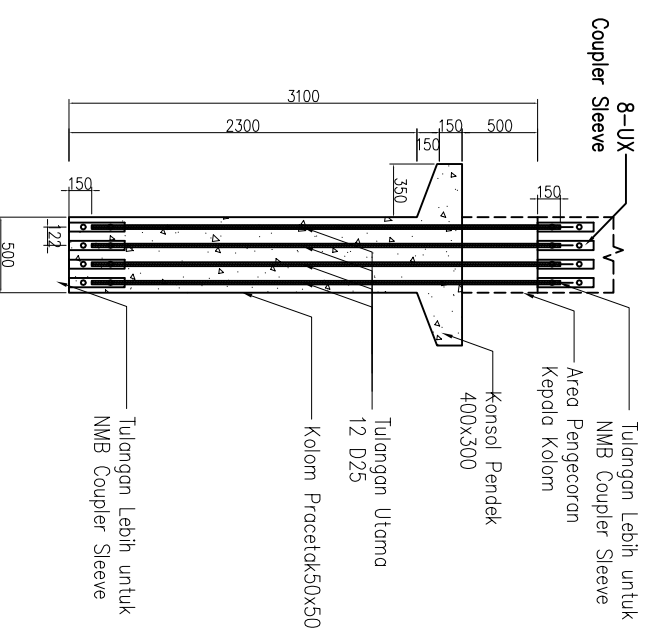
**Kolom Pracetak 60x60**

Skala 1: 50



**Kolom Pracetak 70x70**

Skala 1: 50



**Kolom Pracetak 50x50**

Skala 1: 50



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AJI DICKY PERMANA

NRP

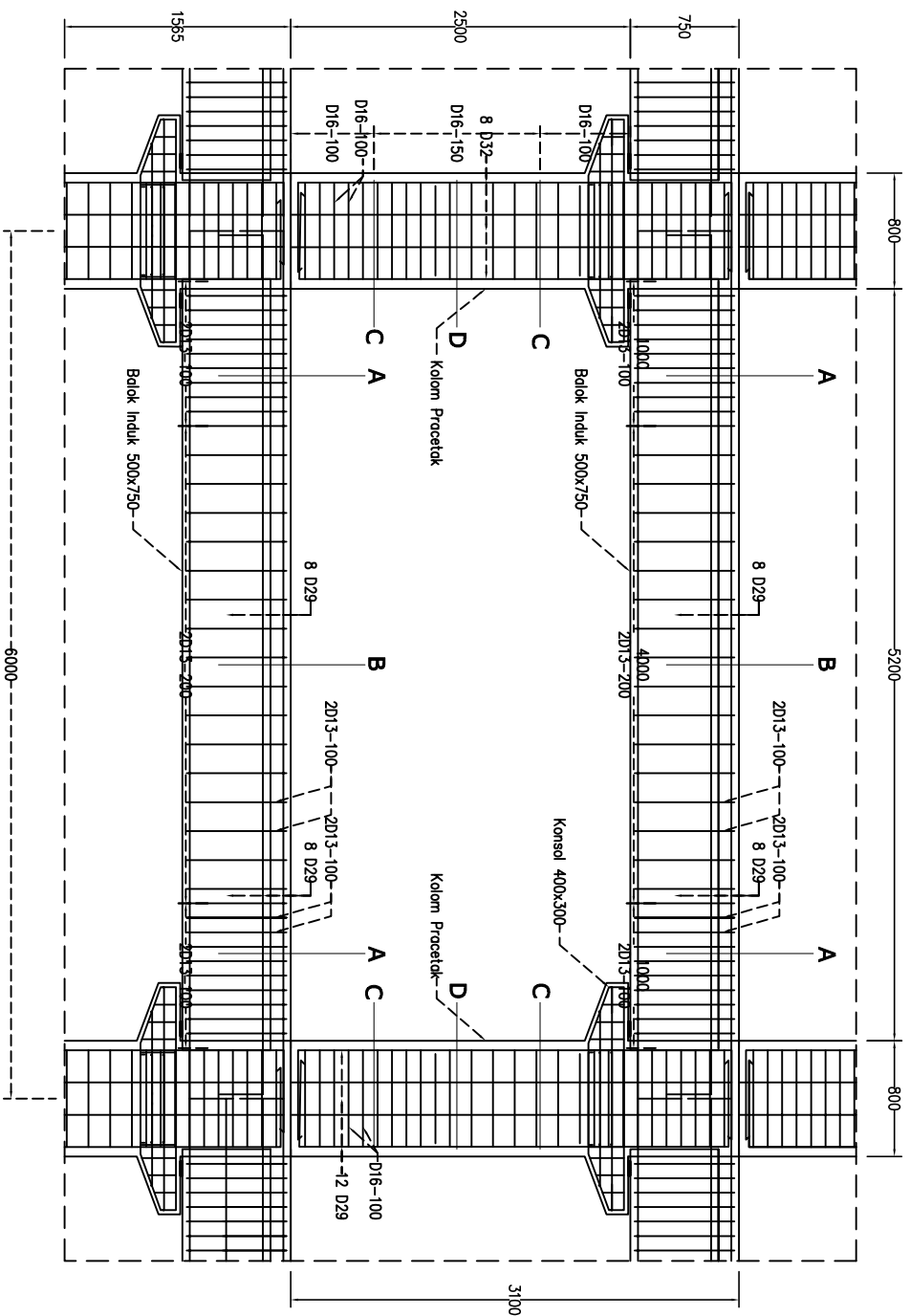
(3112100002)

JUDUL GAMBAR

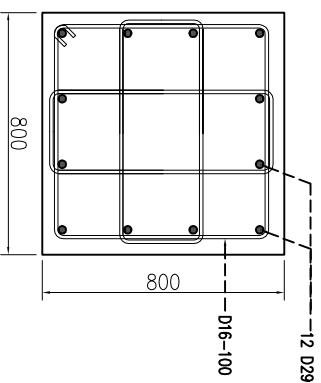
DETAIL KOLDM  
PRACETAK

NO. GMB	SKALA	KODE GMB
18	1:50	STR

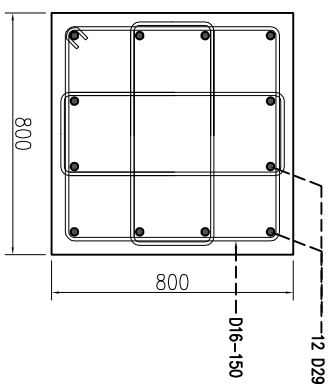




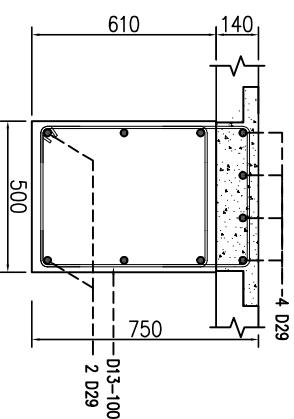
**DETAIL PORTAL**  
SKALA 1:50



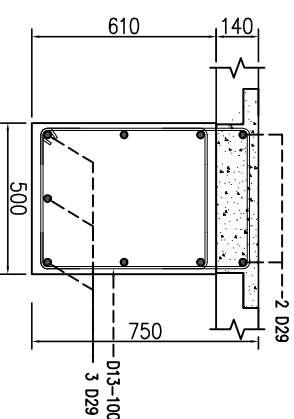
**POT.C**  
Skala 1: 25



**POT.D**  
Skala 1: 25



**POT.A**  
Skala 1: 25



**POT.A**  
Skala 1: 25



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AJI DICKY PERMANA

NRP

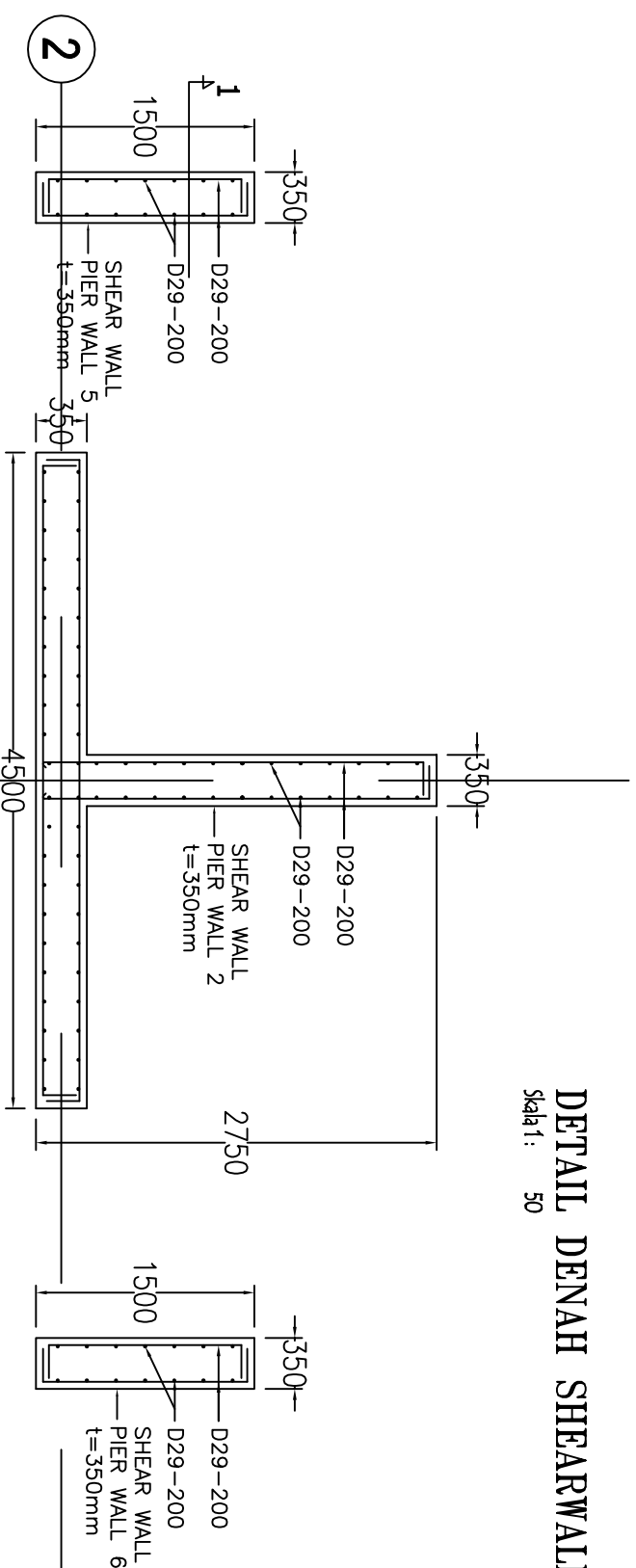
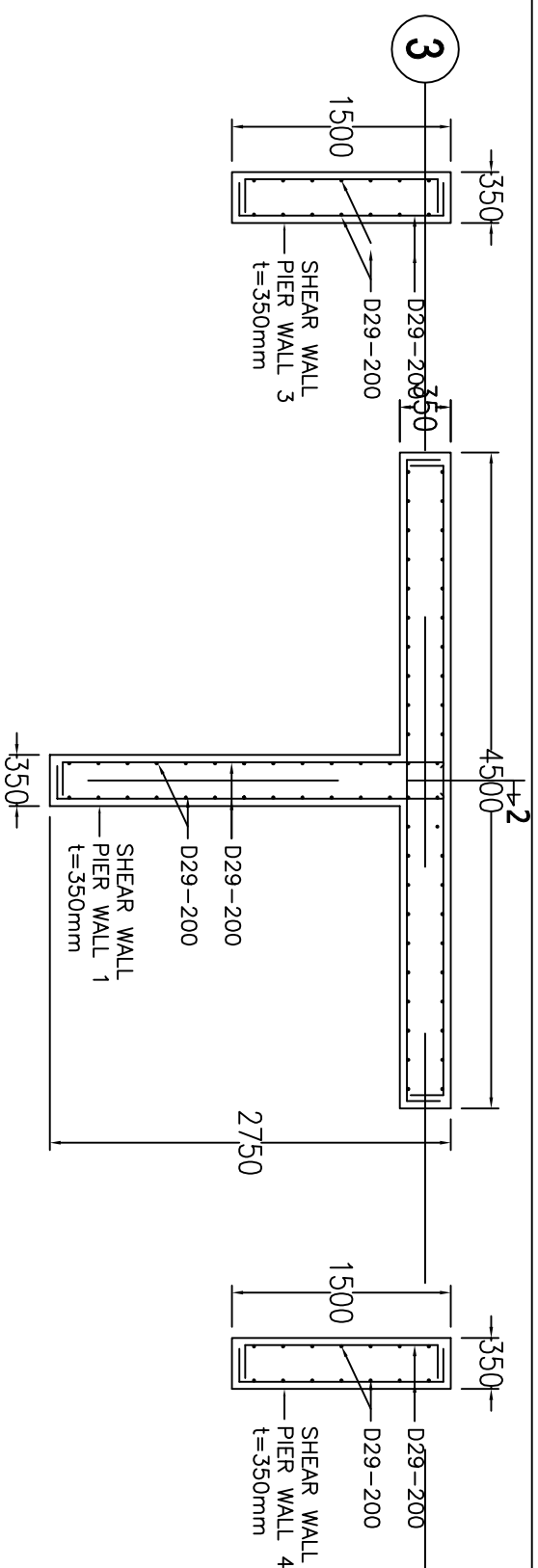
(3112100002)

JUDUL GAMBAR

DETAIL PORTAL

NO. GMB	SKALA	KODE GMB
---------	-------	----------

19	1:50	STR
----	------	-----



## DETAIL DENAH SHEARWALL

Skala 1: 50



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AJI DICKY PERMANA

NRP

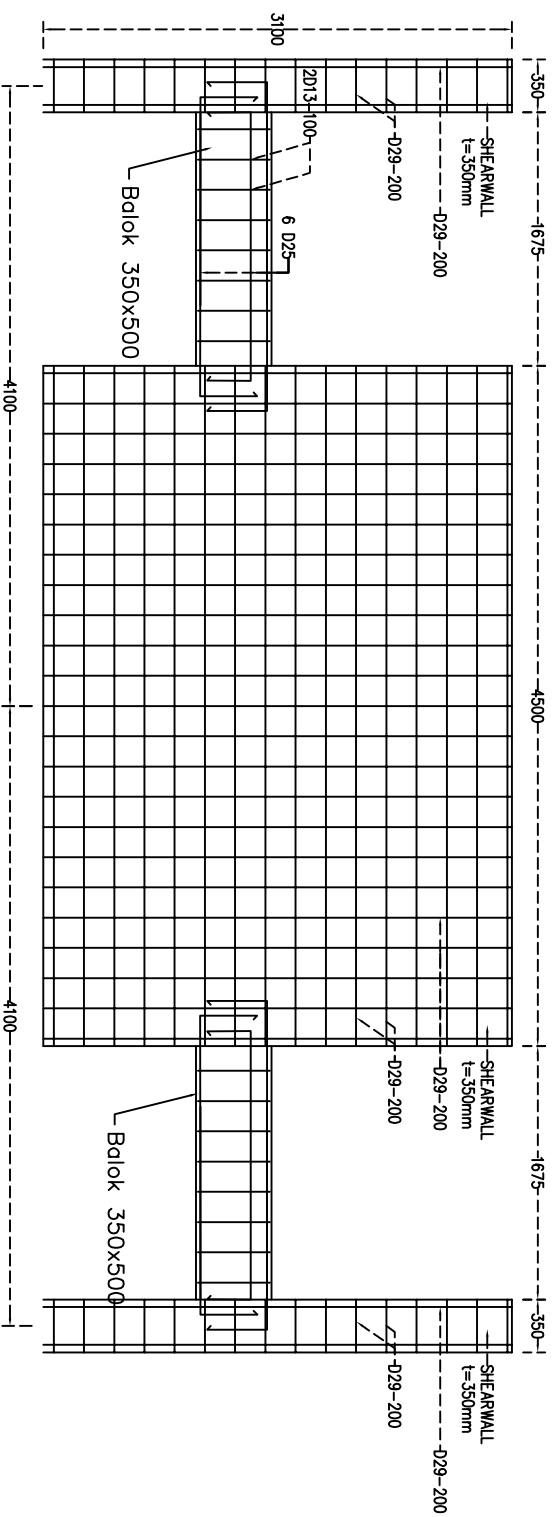
(3112100002)

JUDUL GAMBAR

DENAH TULANGAN  
SHEARWALL

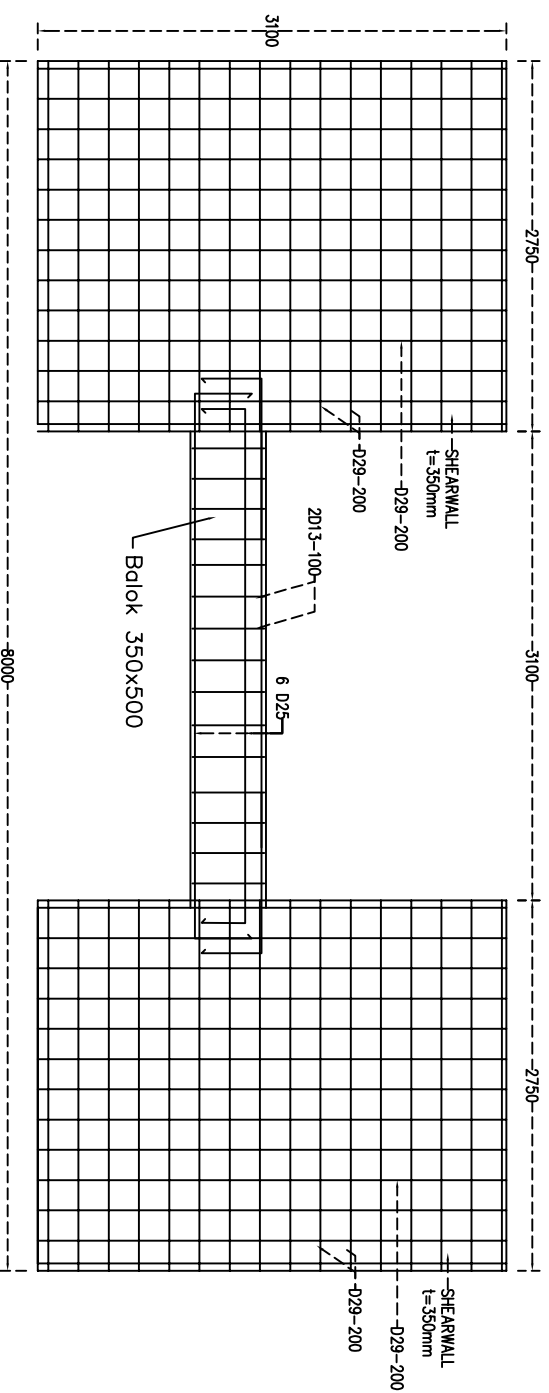
NO. GMB SKALA KODE GMB

20 1:50 STR



## DETAIL POTONGAN 1 SHEARWALL

Skala 1: 50



## DETAIL POTONGAN 2 SHEARWALL

Skala 1: 50



PROGRAM S-1  
JUSURAN TEKNIK SIPIL  
FTSP-ITS

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN  
APARTEMEN GRAND KAMALA  
LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE BETON PRACETAK

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. I G P Raka, DEA

MAHASISWA

AIJ DICKY PERMANA

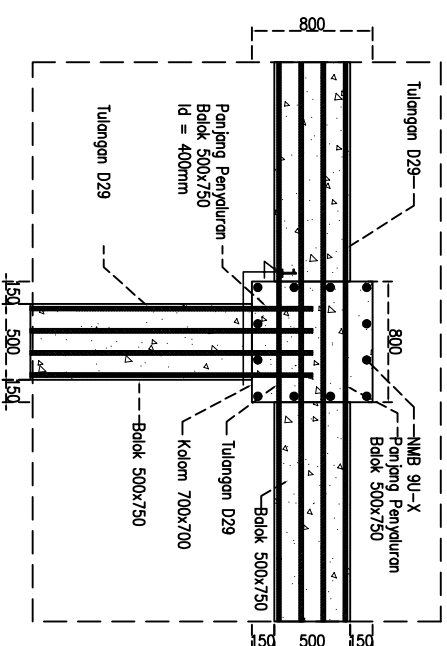
NRP

(3112100002)

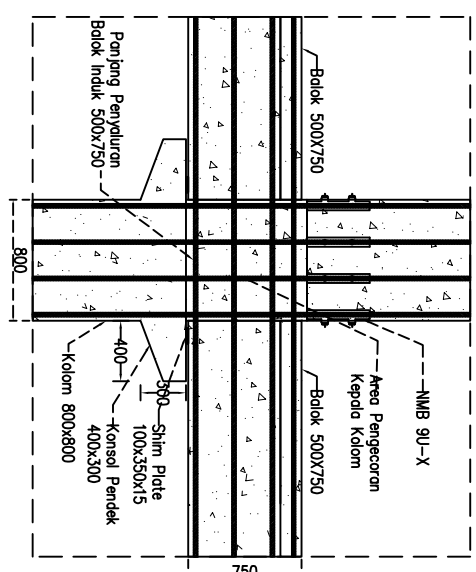
JUDUL GAMBAR

DETAIL TULANGAN  
SHEARWALL

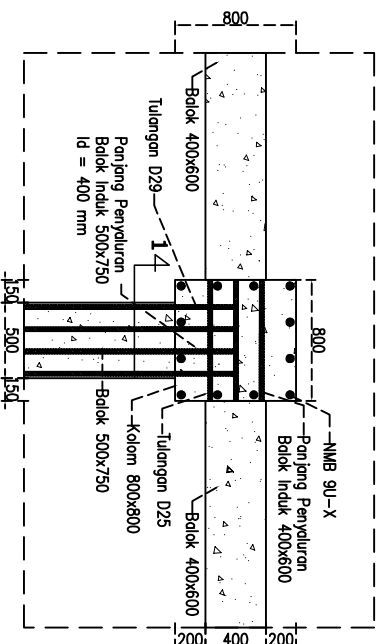
NO. GMB	SKALA	KODE GMB
21	1:50	STR



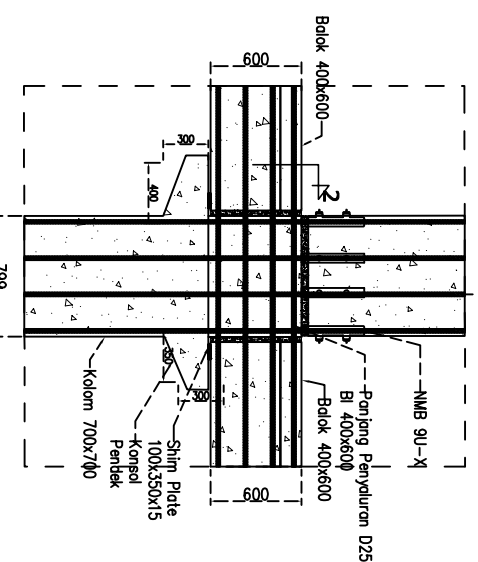
DETAIL SAMBUNGAN KOLOM K1-BALOK BI.1-BALOK BI.1 (C'-3)  
Skala: 1:50



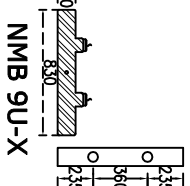
POTONGAN 1  
Skala: 1:50



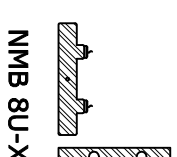
DETAIL SAMBUNGAN KOLOM K1-BALOK BI.2-BALOK BI.2 (B-4)  
Skala: 1:50



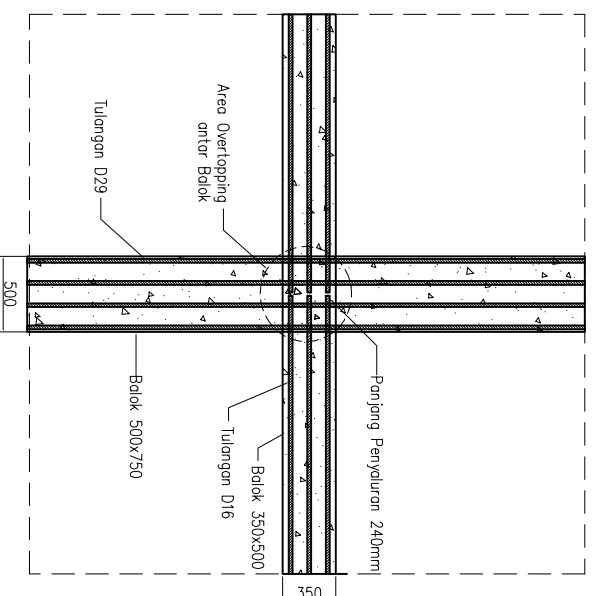
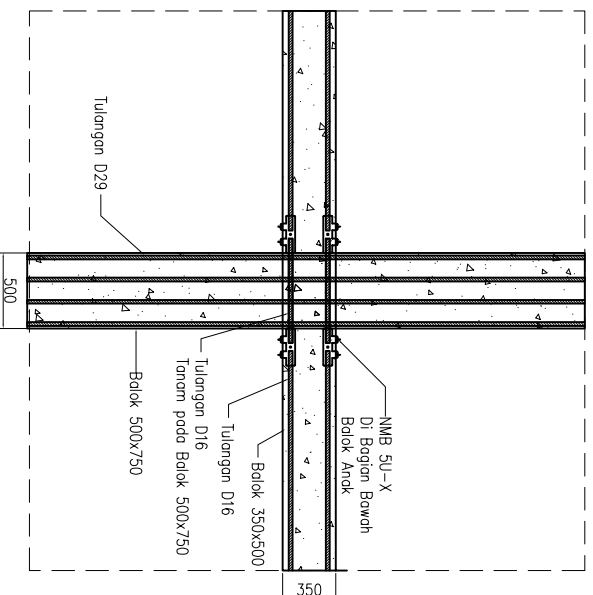
POTONGAN 1  
Skala: 1:50



DETAIL COUPLER SLEEVE NMB 9U-X  
Skala: 1:50



DETAIL COUPLER SLEEVE NMB 8U-X  
Skala: 1:50

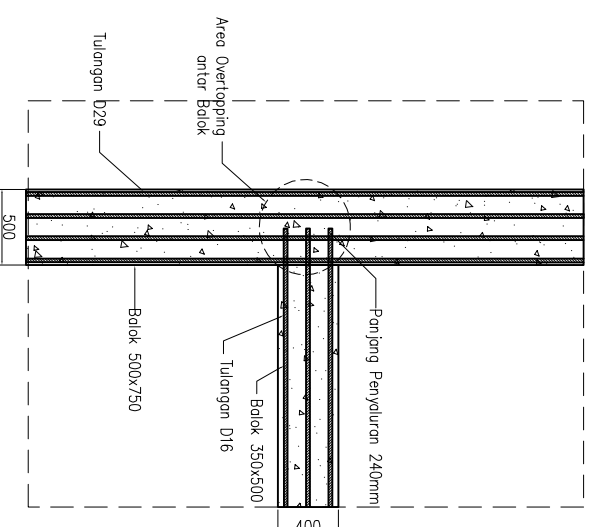
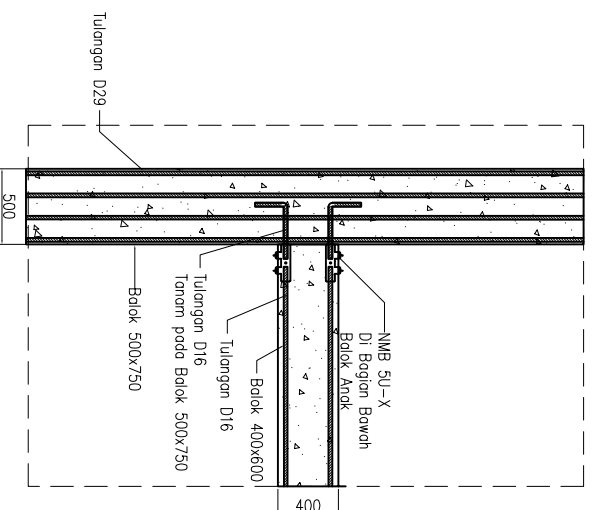


### DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK & ANAK (BAWAH)

Skala 1: 50

### DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK & ANAK (ATAS)

Skala 1: 50




**DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK & ANAK (BAWAH)**

Skala 1: 50

**DETAIL SAMBUNGAN BALOK INDUK & ANAK (ATAS)**

Skala 1: 50

 <p><b>ITS</b> Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>		
<p><b>PROGRAM S-1</b> <b>JUSURAN TEKNIK SIPIL</b> <b>FTSP-ITS</b></p>		
<p><b>JUDUL TUGAS AKHIR</b></p>		
<p><b>MODIFIKASI PERENCANAAN APARTEMEN GRAND KAMALA LAGOON DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK</b></p>		
<p><b>DOSEN PEMBIMBING</b></p>		
<p><b>Prof. Ir. I G P Raka, DEA</b></p>		
<p><b>MAHASISWA</b></p>		
<p><b>AJI DICKY PERMANA</b></p>		
<p><b>NRP</b></p>		
<p><b>(3112100002)</b></p>		
<p><b>JUDUL GAMBAR</b></p>		
<p><b>DETAIL SAMBUNGAN</b></p>		
<b>NO. GMB</b>	<b>SKALA</b>	<b>KODE GMB</b>
23	1:50	<b>STR</b>